

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

João Paulo Cervieri

SISTEMA SUPERVISOR DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA SETORIZADO PARA SISTEMAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Passo Fundo
2017

João Paulo Cervieri

**SISTEMA SUPERVISOR DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA SETORIZADO PARA SISTEMAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Sergio Bordgnion.

Passo Fundo
2017

João Paulo Cervieri

Sistema supervisor de consumo de energia elétrica setorizado para sistemas de eficiência energética

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Sergio Bordgnion.

Aprovado em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me.Sergio Bordgnion - UPF

Prof. Me. Edson Santos Acco - UPF

Prof. Dr. Mikhail Polonskii - UPF

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Ivone e Álvaro, com muito amor, pelo exemplo, apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas de engenharia que ao decorrer do curso se tornaram grandes amigos, aos professores, em especial ao meu orientador Sergio Bordgnion, por toda a dedicação e contribuição para que juntos pudéssemos concluir este trabalho.

Aos colegas de trabalho, que ao longo da jornada me ajudaram a adquirir o conhecimento necessário para a atuação na área de projetos e manutenção e que continuam me apoiando sempre quando necessário.

As amizades feitas no intercâmbio acadêmico, sem as quais o ano de vivência no exterior não teria sido o mesmo, em especial aos colegas da turma do curso de inglês, os quais sempre estiveram presentes em toda esta etapa de desafios e aprendizagem.

Por fim, a todos os amigos e familiares que estiveram ao meu lado compreendendo os momentos em que me ausentei para me dedicar ao curso, especialmente para minha namorada Bruna, a qual sempre me apoiou e ajudou nesta etapa final.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

Walter S. Landor.

RESUMO

O projeto consiste na implementação de um sistema microcontrolado de aquisição de dados sobre consumo de energia elétrica ativa de um processo em uma indústria e apresentá-lo de forma amigável na tela de um computador de maneira que, uma pessoa sem conhecimento técnico na área possa acompanhar. Sua principal função é de realizar a supervisão das linhas de produção em meio a um processo quanto ao seu consumo de energia elétrica, para que se obtenha dados detalhados de toda a planta fabril, sendo que hoje na maioria das vezes é realizado apenas na entrada de energia da indústria. Cabe ressaltar que o projeto foi desenvolvido a partir da necessidade da busca de um sistema elétrico mais eficiente e inteligente devido à escassez de fontes de energia que estamos enfrentando atualmente. Com dados reais e detalhados do consumo interno da fábrica, pode-se então buscar soluções pontuais ou de todo o sistema de distribuição de energia para melhorar seu rendimento, bem como apontar para consumos fora dos padrões estipulados pelos fabricantes das máquinas e corrigir os motivos da causa. O sistema é formado por módulos de medição, onde estes são instalados nos painéis elétricos de alimentação das máquinas de forma que haja uma supervisão satisfatória de todo o sistema da planta fabril. Estes módulos são conectados a um computador por meio de uma conexão ethernet, utilizando o protocolo de comunicação ethernet/IP, proporcionando uma visualização dos dados obtidos através dos medidores pelo navegador *web*.

Palavras-Chave: microcontrolado, consumo, eficiente.

ABSTRACT

The project proposes the implementation of a micro controlled system for acquiring data of the electric power consumption in an industry process and displays them in a friendly way on computer screen which a person without technical knowledge in the area may be able to understand. Its main function is to perform the supervision of the production lines in the middle of a process regarding its energy consumption, so the detailed data of the whole plant can be obtained, not as it is nowadays obtained most cases, only at the entrance Industry. It should be noted that the project was developed from the need to obtain more efficient and intelligent electrical system due to the shortage of energy sources that we are currently facing. With real and detailed data on the internal consumption of the industrial plant, you can then search for specific solutions or the entire energy distribution system to improve your efficiency, as well as point out consumption patterns that are set by the machine manufacturers and correct the reasons that have caused them. The system is formed by measuring modules, where these are installed in the electric power panels of the machines providing away that there is a satisfactory supervision of the whole system in the factory plant. These modules are connected to a computer through an Ethernet connection, using Ethernet/IP protocol, where it will be responsible for visualizing the data obtained through the meters modules.

Keywords: microcontroller, consumption, efficient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estrutura de oferta de energia no Brasil por fonte.	19
Figura 2 - Consumo final de energia por setor no Brasil.	20
Figura 3 - Fluxo Energético de Eletricidade no Brasil.....	21
Figura 4 - Exemplo de performance de uma máquina.	23
Figura 5 - Sequências trifásicas de fase.	25
Figura 6 - Representação das tensões em forma vetorial.	26
Figura 7 - Transformador de Corrente <i>Siemens</i>	28
Figura 8 - Rede de um sistema supervisório.....	30
Figura 9 - Tela de uma Supervisório.	30
Figura 10–Diagrama de blocos.....	35
Figura 11- KIT EK-TM4C1294XL	36
Figura 12 - Módulos ADC.....	38
Figura 13 - Diagrama de Blocos do RTC.....	40
Figura 14 - Diagrama do <i>hardware</i> proposto.....	44
Figura 15 - Circuito de Aquisição de Sinal de Tensão.	45
Figura 16 - Circuito de Aquisição de Sinal de Corrente.	47
Figura 17 - <i>Display</i> 4x20.....	48
Figura 18 - Barramento de dados <i>Display</i>	49
Figura 19 - Diagrama Elétrico do RTC.	50
Figura 20 - Esquema de Conexão <i>Ethernet</i>	52
Figura 21 - Circuito da Fonte de Alimentação.	54
Figura 22 - <i>Layout</i> placa de Controle	55
Figura 23 - <i>Layout</i> Placa de Potência	55
Figura 24 - Fluxograma Geral do <i>firmware</i>	57
Figura 25 - Fluxograma Aquisição dos Dados.	58
Figura 26 - Fluxograma do Cálculo de Potência.	59
Figura 27 - Fluxograma Calculo RMS.	59
Figura 28 - Fluxograma do Fator de Potência.	61
Figura 29 - Representação do tráfego de dados entre Supervisório e Medidor.	62
Figura 30 - Sinal Amostrado de 60Hz com offset.	63
Figura 31 - Sinal de Tensão tratado.	64
Figura 32 - Sinais de Tensão e Corrente com carga resistiva.	64

Figura 33 - Sinais de tensão e corrente defasados.	67
Figura 34 - Comparação Fator de Potência.	68
Figura 35 – Acesso ao Medidor.	68
Figura 36 - Pagina Inicial do Supervisorio.	69
Figura 37 - Página das Medições Atuais.	69
Figura 38 - Pagina de Medições Mensais e Diárias.	70
Figura 39 - Página de Ajustes Gerais.	71
Figura 40 - <i>Display</i> LCD.	71
Figura 41 - Consumo Mensal do painel analisado.	73
Figura 42 - Consumo do dia 1.	74
Figura 43- Consumo do dia 3.	74
Figura 44 - Consumo do dia 5.	74
Figura 45 - Esquema de Ligação 1.	80
Figura 46 - Esquema de Ligação 2.	81
Figura 47 - Layout Placa de Comando.	82
Figura 48 - Layout Placa de Potência.	82
Figura 49 - Placa de Comando Montada.	83
Figura 50 - Placa de Potência Montada.	83
Figura 51 - Medidor Montado.	84
Figura 52 – Conexões do Medidor.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Itens Utilizados do KIT EK-TM4C1294XL.	37
Tabela 2 - Correntes para Fonte de +5V.	41
Tabela 3 - Correntes para Fonte de -5V.	41
Tabela 4 - Linguagens utilizadas no DreamWeaver.....	43
Tabela 5 - Pinos Utilizados Para Conexão da Placa Periférica.	51
Tabela 6 - Validação das Correntes.....	65
Tabela 7 - Validação das Tensões	66
Tabela 8 - Comparação de Fatores de Potência obtidos.....	68
Tabela 9 - Quadro de Cargas do quadro analisado.....	72
Tabela 10 - Especificação do TC.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

OPEP – Organização dos países Exportadores de Petróleo.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

MME – Ministério de Minas e Energia.

BEN – Balanço Energético Nacional.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

RMS – *Roots Mean Square* (Valor Quadrático Médio).

SCADA - *Supervisory Control & Data Acquisition Systems* (Sistemas de Supervisório de Controle e Aquisição de Dados).

CLP – Controlador Logico Programável.

TCP – *Transport Control Protocol* (Protocolo de Controle de Transporte)

IP- *Internet Protocol* (Protocolo de Internet).

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.

RTC – *Real Time Clock* (Relógio em Tempo Real).

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*.

TC – Transformador de Corrente.

SDA – *Serial Data*.

SCL – *Serial Clock*.

A/D – Analógico/Digital.

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	18
2.1.1 Eficiência Energética no Brasil	18
2.1.2 Racionamento de Energia e Eficiência Energética.....	19
2.1.3 Perfil da Energia no Brasil	19
<i>2.1.3.1 Consumo de Energia Elétrica no Brasil.....</i>	<i>20</i>
2.1.4 Eficiência Energética no ramo Industrial	21
2.2 POTÊNCIA ELÉTRICA REAL.....	23
<i>2.2.1.1 Cálculo das Potências Trifásicas</i>	<i>24</i>
2.3 SENSOR DE CORRENTE	27
2.3.1 Resistor Shunt.....	27
2.3.2 Sensor de Efeito Hall.....	27
2.3.3 Transformador de Corrente	27
2.4 SUPERVISÓRIO	28
2.4.1 Sistema SCADA	29
2.4.2 Estrutura de um Supervisório.....	29
2.4.3 Interface com o Usuário.....	30
2.5 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL	31
2.5.1 Protocolo <i>ModBus</i>.....	31
2.5.2 Protocolo <i>Profibus</i>	31
2.5.3 Protocolo <i>Devicenet</i>.....	32
2.5.4 Protocolo <i>CANOpen</i>.....	32

2.5.5 Ethernet TCP/IP	32
2.5.5.1 Ethernet/IP	33
2.5.5.2 Profinet	33
2.5.5.3 Modbus/TCP	33
2.6 MICROCONTROLADOR	33
2.6.1 Microcontrolador da família PIC	34
2.6.2 Microcontrolador da família ARM Cortex -M	34
3 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO	35
3.1 SUPERVISÓRIO	35
3.2 MICROCONTROLADOR	36
3.2.1 Conversor analógico-digital (ADC)	37
3.2.2 EEPROM	38
3.3 REAL TIME CLOCK – RTC	39
3.4 AQUISIÇÃO DE SINAL DE CORRENTE	40
3.5 AQUISIÇÃO DE SINAL DE TENSÃO	40
3.6 FONTE	41
3.7 SOFTWARES	42
3.7.1 Isis	42
3.7.2 Ares	42
3.7.3 IAR Embedded Workbench	42
3.7.4 Adobe DreamWeaver	43
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	44
4.1 HARDWARE	44
4.1.1 Aquisição do Sinal de Tensão	44
4.1.2 Aquisição do Sinal de Corrente	46
4.1.3 Display	48
4.1.4 Real Time Clock – RTC	49

4.1.5 Microcontrolador	50
<i>4.1.5.1 Ethernet</i>	<i>51</i>
4.1.6 Fonte	52
4.1.7 Placas de Circuito Impresso	54
<i>4.1.7.1 Layout da Placa de Controle.....</i>	<i>54</i>
<i>4.1.7.2 Layout da Placa de Potência.....</i>	<i>55</i>
4.2 FIRMWARE	56
4.2.1 Aquisição de dados	57
4.2.2 Cálculo das Potências	58
<i>4.2.2.1 Cálculo RMS.....</i>	<i>59</i>
<i>4.2.2.2 Fator de Potência</i>	<i>60</i>
<i>4.2.2.3 Gravação EEPROM</i>	<i>61</i>
4.3 INTERFACE WEB	62
5 RESULTADOS	63
5.1 DIGITALIZAÇÃO DO SINAL ANALÓGICO	63
5.2 VALIDAÇÕES.....	65
5.2.1 Calibração e Validação das Correntes	65
5.2.2 Calibração e Validação das Tensões	66
5.2.3 Validação Fator de Potência.....	66
5.3 SUPERVISÓRIO VIA WEB	68
5.4 DISPLAY LCD.....	71
5.5 INSTALAÇÃO A CAMPO	72
6 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO DOS CIRCUITOS DESENVOLVIDOS	80
APÊNDICE B – LAYOUT DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.....	82
APÊNDICE C – MONTAGEM DO MEDIDOR.....	83

1 INTRODUÇÃO

A escassez de fontes de energia elétrica tem gerado uma pressão muito grande sobre os consumidores no que se refere ao consumo de energia. O sistema elétrico atual consiste em buscar a produção de maior quantidade de energia com a menor agressão ao meio ambiente, investindo fortemente em fontes de energias renováveis de um lado e o uso desta energia de forma mais eficiente de outro, desencadeando assim o uso de redes elétricas mais inteligentes.

Visando isso, muitas empresas tem implementado sistemas de eficiência energética em suas unidades, onde visam monitorar e melhorar a eficiência das suas instalações elétricas, reduzindo assim o seu consumo e consequentemente o custo do produto acabado na unidade. Com o uso destes sistemas, estas empresas tem a possibilidade de gerar mais lucros e trazer benefícios ao meio ambiente, tendo em vista que será necessário menos produção de energia que, por muitas vezes, são geradas por meio de usinas de fontes não renováveis.

Para que seja possível a implementação de um programa de eficiência energética, a planta fabril deve conter um sistema apto a fornecer os dados do consumo destas energias, para que assim possa se ter um controle do que se está consumindo com o que se está produzindo, onde com base nestes dados seja possível a realização de um estudo detalhado do sistema e avaliar as ações que se fazem necessárias para melhorar a eficiência da planta, sendo esta por meio de troca de equipamentos obsoletos por de maior eficiência ou por meio de alteração do método de produção.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um protótipo que realize medições do consumo de energia elétrica de uma linha de produção instalada em um processo industrial, realizando a medição da potência trifásica ativa desta linha, enviando estes dados a um computador destinado a supervisionar esta medição. Somando estas informações com a quantidade de produto produzido, pode-se então obter a eficiência do processo.

Como outro objetivo, foi proposto que este medidor seja conectado a uma rede que possibilite a instalação de mais de uma unidade, sendo possível assim instalar a quantidade de medidores que forem necessários em uma mesma rede para que se tenha uma supervisão

satisfatória de toda a planta industrial, o qual possibilitará um controle detalhado do consumo de energia elétrica ativa de toda a fábrica e não apenas de um setor.

1.2 JUSTIFICATIVA

Independente do ramo da indústria, todos os setores operacionais tem objetivos em comum, e são cobrados para cortar despesas dos orçamentos já escassos. Como os meios de obter estes cortes, muitas vezes, já foram realizados, estes setores precisam começar a explorar novos meios de aprimoramento, incluindo o gerenciamento de energia.

Nos dias de hoje, as indústrias tem o seu acompanhamento e gerenciamento de consumo de energia elétrica apenas na entrada de energia da fábrica, o que não possibilita um histórico detalhado de seus setores do que realmente está acontecendo, qual o setor que está com um consumo elevado e a possível causa do mesmo.

Um sistema de supervisão setorizado gera a possibilidade de uma supervisão detalhada, juntamente com uma base de dados referente ao consumo de cada linha de produção, possibilitando assim um acompanhamento do funcionamento do processo, evidenciando possíveis desgastes que venham a ocorrer por meio do aumento fora do padrão do consumo bem como erro operacional. Isto possibilita a intervenção para uma manutenção preventiva antes mesmo da máquina apresentar defeito e gerar custos desnecessários com consumo, manutenção corretiva e indisponibilidade de máquina. Outro ponto positivo com a implementação deste sistema, é a possibilidade de se obter dados de eficiência energética do processo, comparando o consumo de energia com a quantidade de produtos produzidos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos: O capítulo 1, introduz o projeto supracitado. No capítulo 2 é abordada a revisão bibliográfica realizada para compreensão e desenvolvimento do projeto. O capítulo 3 apresenta as especificações do projeto. Já o capítulo 4 apresenta as etapas relacionadas ao desenvolvimento da proposta. No capítulo 5 temos os testes e resultados obtidos. E, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais do projeto, relatando as dificuldades encontradas ao longo do projeto e também as indicações de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Aqui serão abordados os assuntos mais importantes e demonstrado hipóteses onde será desenvolvida e analisada a ideia principal deste relatório.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Pode-se considerar eficiência energética, como quaisquer possibilidades de melhoria, na relação entre o trabalho produzido e o consumo de energia, aumentando assim o rendimento do sistema.

Segundo Panesi (2006), toda energia passa por uma transformação após a qual se transforma em calor, luz, movimento, etc., durante esta transformação, parte desta energia não é utilizada, gerando assim desperdícios, e a que chega ao consumidor nem sempre é devidamente aproveitada. As medidas de eficiência energética propõem a implementação de meios para combater este desperdício.

Deve-se considerar também que a geração de energia, seja ela hidráulica, a óleo, a carvão, etc., também agride de uma forma ou outra o meio ambiente. (MAMEDE FILHO, 2006). Logo, melhorando a eficiência de um sistema, não apenas irá trazer benefícios financeiros, mas também ao meio ambiente de forma indireta.

2.1.1 Eficiência Energética no Brasil

Com as sucessivas crises energéticas iniciadas em 1971, como a denominada crise do petróleo que resultaram na decisão dos países que compunham Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) de estabelecer os preços do petróleo, fez com que o preço do barril saltasse de US\$ 4,00 para US\$ 40 na aquela data. (MAMEDE FILHO, 2006).

Com o aumento absurdo no preço do petróleo, os governos perceberam que era necessário conter os desperdícios de energia e implementar programas para fazê-lo.

No Brasil, o Ministério de Minas e Energia(MME) assumiu esta tarefa em 1985, criando o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja função era integrar as ações de conservação de energia. (MAMEDE FILHO, 2006).

Com as mudanças institucionais ocorridas no setor energético ao longo dos últimos 15 anos, em 2004 foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao MME. Entre competências da EPE, está a de elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional (BEN), onde

este relatório documenta e divulga, anualmente uma pesquisa e a contabilidade relativa à oferta e consumo de energia no Brasil. (EPE, 2016).

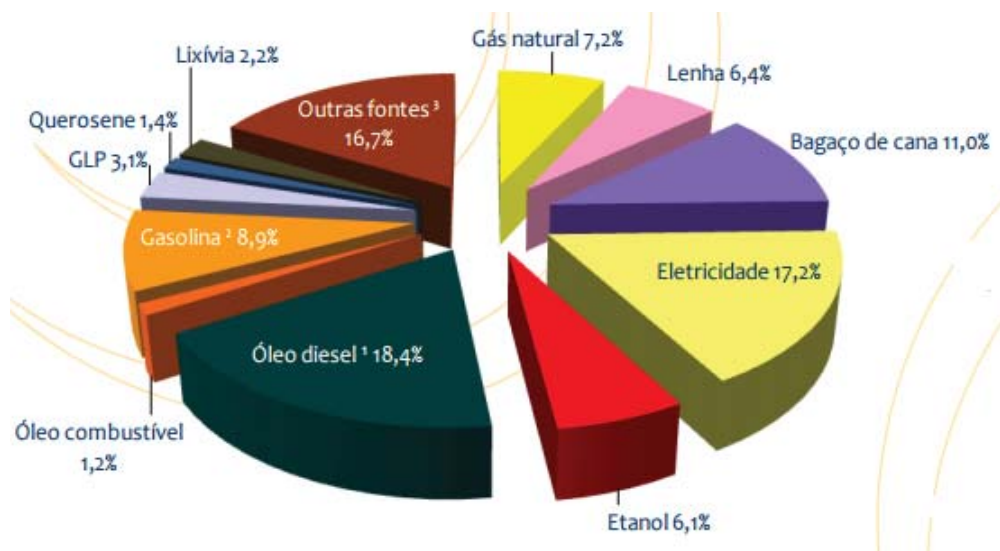
2.1.2 Racionamento de Energia e Eficiência Energética

É importante distinguir a diferença entre eficiência energética e racionamento de energia. Enquanto a eficiência energética visa a redução de uma energia para realizar o mesmo serviço, melhorar a eficiência energética faz diminuir o consumo de energia primaria necessária para produzir um determinado serviço de energia, não importando em que ponta da cadeia a redução ocorra. Já o racionamento de energia significa reduzir o serviço energético, por meio de redução do serviço. (PANESI, 2006).

2.1.3 Perfil da Energia no Brasil

A Figura 1 representa as principais fontes de energia que o Brasil utiliza para suprir suas necessidades básicas, onde a energia apresentada em questão representa toda fonte energética utilizada para realizar um trabalho final.

Figura 1- Estrutura de oferta de energia no Brasil por fonte.



Fonte: EPE (2016).

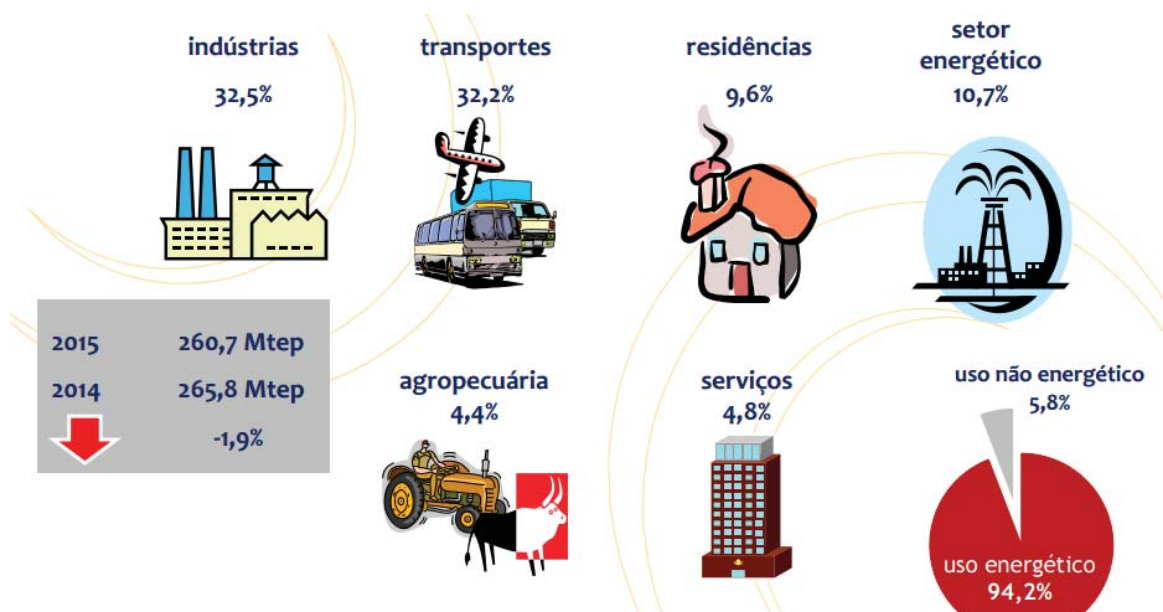
No caminho traçado pela energia, partindo da energia primaria até o momento que é usada para os serviços energéticos, a energia passa por várias transformações e apresenta-se de

diversas formas que podem ser medidas apenas em uma unidade, sendo essa tonelada equivalente de petróleo ou tep. Sendo um tep = 45,2 GJ. (PANESI, 2006).

De acordo com o EPE(2016), houve uma redução de 1,9% no consumo de energia, sendo esta redução de 265,8 Mtep em 2014 para 260,7 Mtep em 2015

Pode-se observar na Figura 2, que os maiores consumidores de energia no Brasil atualmente são representados pelas indústrias e meios de transportes.

Figura 2 - Consumo final de energia por setor no Brasil.



Fonte: EPE (2016).

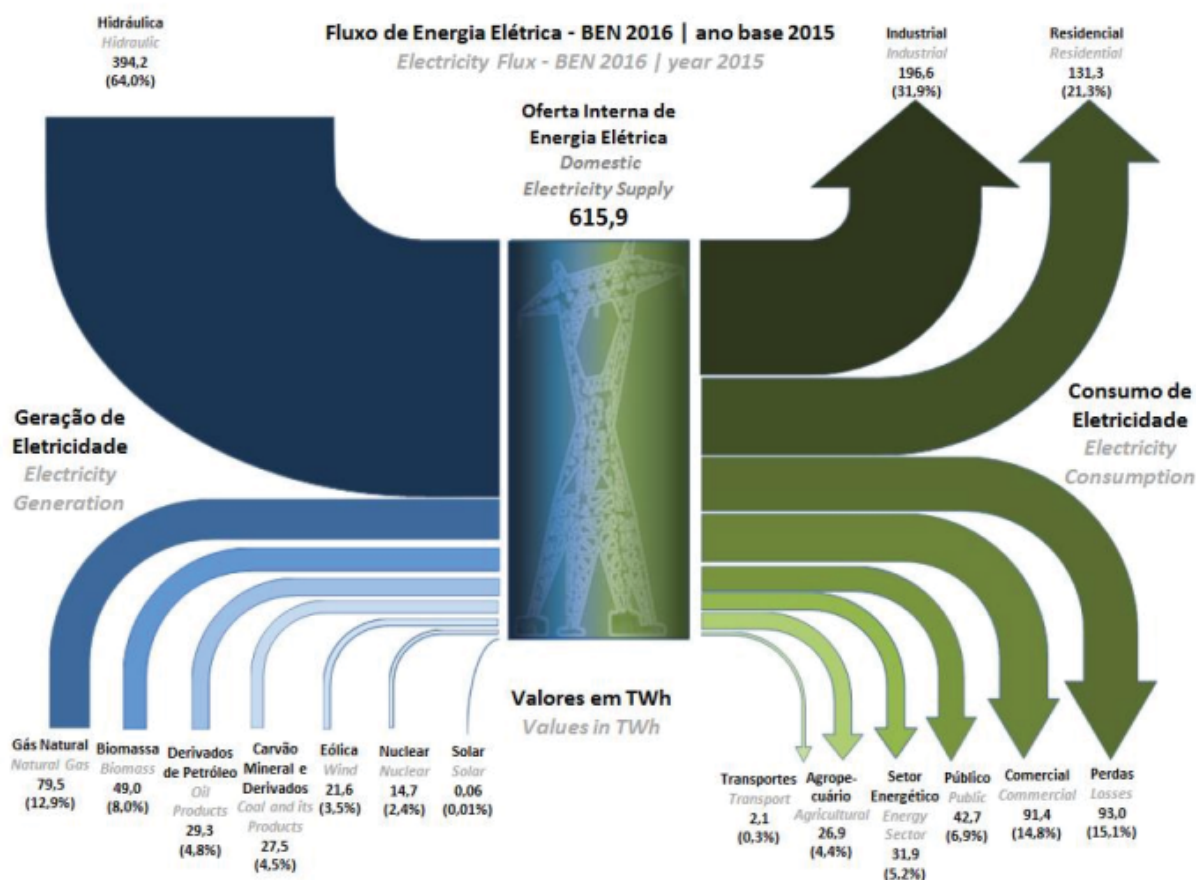
Como não se pode abaixar as taxas de produção de uma indústria para economizar energia, o qual se caracterizaria como racionamento, o método a ser implementado é melhorar a taxa de energia usada para produzir estes produtos, investindo assim em eficiência energética.

2.1.3.1 Consumo de Energia Elétrica no Brasil

Segundo relatório do EPE(2016), houve uma diminuição no consumo final de 532,6 TW/h para 522,8 TW/h de 2014 para 2015, porém houve um aumento nas perdas comerciais e técnicas de 91,7 TW/h em 2014 para 93,1TWh em 2015.

Na Figura 3, pode ser observado as principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil bem como seus principais consumidores.

Figura 3 - Fluxo Energético de Eletricidade no Brasil.



Fonte: EPE (2016).

Como pode ser observado, igualmente como o consumo de energia, o maior consumidor de energia elétrica é o ramo industrial, ficando com 31,9% do consumo geral do país, onde também se observa uma perda de 15,1%.

2.1.4 Eficiência Energética no ramo Industrial

Sobre a constante pressão de reduzir mais seus orçamentos, indústrias geralmente voltam para seus times operacionais para gerar melhoramentos nos processos que levem a redução de custos, visando isso, os times operacionais estão constantemente investigando jeitos para melhorar a qualidade, reduzir o desperdício e otimizar o trabalho.

Com este processo, os gerentes industriais sempre estão à procura de reduzir ainda mais os gastos e manter ou até mesmo aumentar a produção. No passado, estes objetivos foram alcançados por meio de combinações de aquisição de equipamentos mais modernos e eficientes.

Atualmente para continuar alcançando estes números, os times operacionais tem que achar um novo método, que consiste em discriminar o papel da energia dentro das operações de produção. (KAUFMAN, 2016).

Tendo a possibilidade de ver a energia como um elemento de produção, indústrias usam conhecimentos e ferramentas existentes para reduzir o consumo além da troca de equipamentos.

Com um sistema mapeado de energia, e convertendo a mesma a um custo por produção, pode-se criar uma base de dados que permite o time operacional a achar respostas para questões como se o equipamento deve ser desligado no intervalo de produção ou o tempo que o mesmo leva para entrar em operação novamente não compensa este ganho e se pode colocar series de produção para serem sequenciadas por tempos com baixa demanda de energia conciliando com calendários de produção. (KAUFMAN, 2016).

Indústrias podem ter equipamentos mais eficientes, porém não basta tê-los e não verificar se estão funcionando corretamente e de forma inteligente.

Para conseguir um nível de acompanhamento de sucesso, deve-se acompanhar dois indicadores, sendo estes o consumo de energia elétrica por unidade de produto, ou seja a intensidade, e o outro indicador sendo a eficiência. (KAUFMAN, 2016).

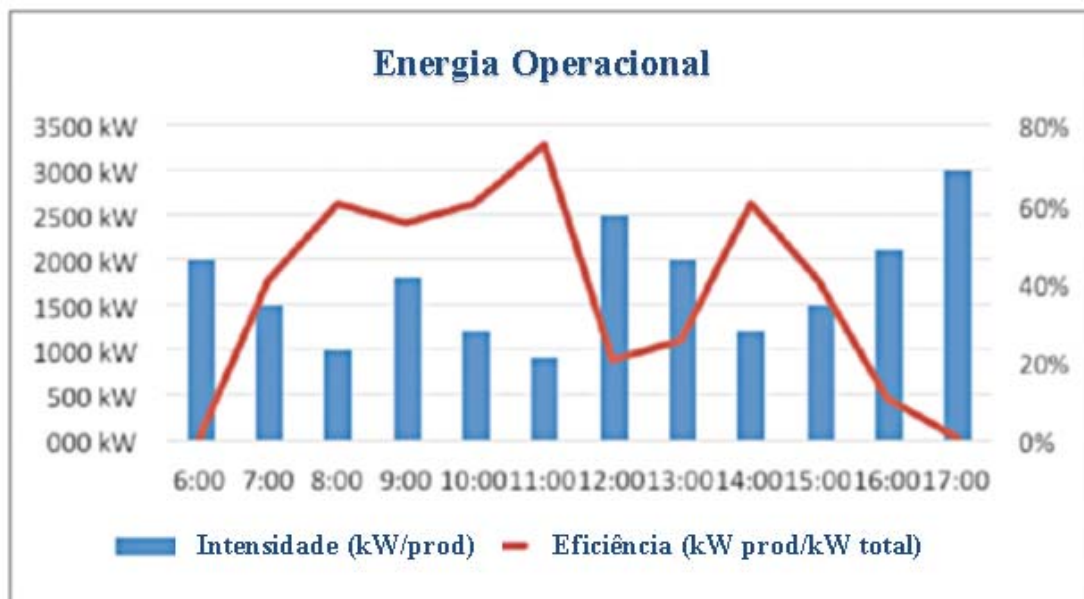
Para cálculo da intensidade temos a Equação (1) e para o cálculo da eficiência podemos observar a Equação (2).

$$Intensidade = \frac{kW}{Produção} \quad (1)$$

$$Eficiencia = \frac{Energia\ produtiva}{Energia\ Total} \quad (2)$$

Estas duas equações são providas de indicadores criados para se conseguir ter um acompanhamento mais eficiente, onde com estes novos indicadores pode-se gerar gráficos de performance da máquina analisada. Abaixo na Figura 4, tem-se um exemplo de como funcionaria este sistema.

Figura 4 - Exemplo de análise de uma máquina.



Fonte: Adaptado de KAUFMAN (2016).

Na Figura 4, apresenta-se as ineficiências durante o dia. Pode-se notar uma elevada intensidade de energia durante o início e final de turno, estes podem indicar a possibilidade de um melhoramento no equipamento, como por exemplo, colocar o mesmo em modo de baixo consumo. Já para o meio do gráfico, pode se observar uma grande variação da intensidade, o qual indica operações diferentes, onde os métodos para se adotar aqui seriam um novo treinamento dos operadores ou uma nova sequência de produção, os quais podem levar a economia de energia.

2.2 POTÊNCIA ELÉTRICA REAL

Para poder calcular as potências reais, primeiramente deve-se analisar o fator de potência. A diferença entre o ângulo de fase da tensão e o ângulo de fase da corrente, representados por φ_1 e φ_2 respectivamente, é denominado o ângulo do fator de potência. O cosseno desse ângulo é denominado fator de potência (fp), e o seno do mesmo ângulo é denominado fator reativo (fr), no qual podemos conferir nas Equações (3) e (4). (NILSSON; RIEDEL, 2009).

$$fp = \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (3)$$

$$fr = \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (4)$$

A relação entre potência aparente e potência real é definida pelo fator de potência, onde o ângulo deste fator também é conhecido como ângulo da impedância Z da carga. (JOHNSON *et al.*, 1994). Para o caso de cargas puramente resistivas, a tensão e a corrente estão em fase, sendo o ângulo do fator de potência igual a zero.

Sabendo que a função cosseno é uma função par, obtém-se a Equação (5).

$$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (5)$$

Sendo assim, conhecendo o valor do fator de potência não nos revela o valor do ângulo do fator de potência. Para descrever este ângulo, usamos fator de potência atrasado para correntes que se encontram atrasadas em relação a tensão, o qual define uma carga indutiva e fator de potência adiantado, o qual significa que a corrente está adiantada em relação a tensão, o qual define uma carga capacitiva. (NILSSON; RIEDEL, 2009).

Abaixo na Equação (6) temos a relação matemática entre potência real e potência aparente.

$$fp = \frac{P}{v_{rms} i_{rms}} = \cos(\theta) \quad (6)$$

Onde temos que θ é a diferença entre os ângulos de tensão e corrente.

Reescrevendo a Equação (6), obtém-se a formula para cálculo da potência real na Equação (7).

$$P = v_{rms} i_{rms} \cos(\theta) \quad (7)$$

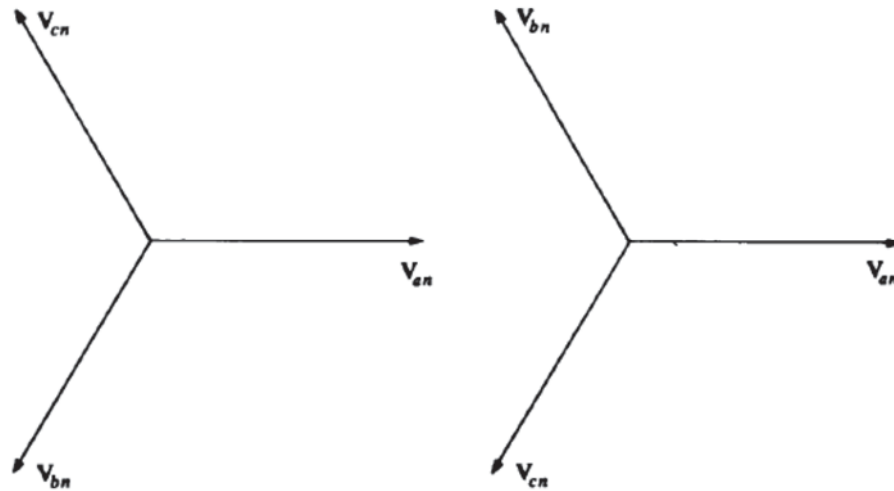
2.2.1.1 Cálculo das Potências Trifásicas

Uma rede de tensões trifásicas equilibradas consistem em três tensões senoidais que tem amplitudes e frequências idênticas, mas com defasagem em relação às outras por exatamente 120° . As fases são comumente chamadas de A, B e C, ou ainda R, S e T, sendo que a primeira fase é tomada como fase de referência. Temos ainda dois tipos de sequências de fases, o primeiro sendo conhecido como sequência de fase positiva, onde a fase B está 120° atrasada em relação a fase A, caso em que a fase C encontra-se 120° adiantada em relação a fase A. Outra possibilidade é a tensão da fase B estar 120° adiantada a fase A e a fase C estará então a

120° atrasada em relação a fase A, sendo esta conhecida com sequência negativa de fase. (NILSSON; RIEDEL, 2009).

Na Figura 5 encontramos as sequências de fase positiva à direita e a sequência negativa à esquerda.

Figura 5 - Sequências trifásicas de fase.



Fonte: JOHNSON *et al.* (1994, p.325).

Tomando como base a sequência de fases positiva, temos a Equação (8), onde temos que V_{an}, V_{bn}, V_{cn} , são as tensões de fase em relação ao neutro.

$$V_{an} = V_p \angle 0^\circ; \quad V_{bn} = V_p \angle -120^\circ; \quad V_{cn} = V_p \angle 120^\circ \quad (8)$$

Agora para obtermos as tensões de linha para este sistema, devemos fazer as operações vetoriais conforme Equações (9), (10) e (11).

$$V_{ab} = V_{bn} - V_{an} = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ \quad (9)$$

$$V_{bc} = V_{cn} - V_{bn} = \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ \quad (10)$$

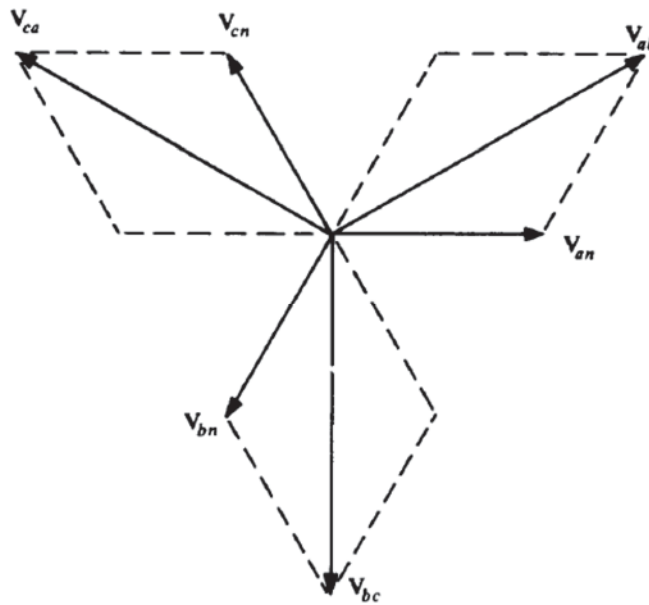
$$V_{ca} = V_{an} - V_{cn} = \sqrt{3} V_p \angle -210^\circ \quad (11)$$

Com base nas equações acima temos que V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} , são as tensões de linha. Ainda podemos retirar destas equações a tensão de linha V_L para um sistema equilibrado conforme Equação (12).

$$V_L = \sqrt{3} V_p \quad (12)$$

Abaixo, na Figura 6 temos as representações dos vetores no plano cartesiano das equações acima.

Figura 6 - Representação das tensões em forma vetorial.



Fonte: JOHNSON *et al.* (1994, p.326).

Com base na Equação (7), que nos dá a potência monofásica em um sistema de tensão senoidal, podemos calcular então a potência trifásica realizando o cálculo para cada fase e somando as três potências conforme Equação (13).

$$P_{3\phi} = P_R + P_S + P_T \quad (13)$$

Onde tem-se que:

- $P_{3\phi}$ é a potência trifásica no sistema.
- P_R é a potência na fase R.
- P_S é a potência na fase S.
- P_T é a potência na fase T.

Para uma carga equilibrada, pode-se afirmar também que as correntes de fase são iguais uma das outras, resultando assim em que as potências nas três fases serão exatamente iguais,

possibilitando acharmos a potência trifásica do sistema apenas multiplicando a potência de uma das fases por 3, conforme Equação (14). (JOHNSON *et al.*, 1994).

$$P_{3\phi} = 3 P \quad (14)$$

2.3 SENSOR DE CORRENTE

Sensores de corrente são dispositivos utilizados para realizar a medição da corrente elétrica circulante em um circuito, onde a seguir serão apresentados alguns tipos de sensores utilizados no mercado que permitem uma boa precisão com um custo razoável.

2.3.1 Resistor Shunt

O resistor Shunt é um componente eletrônico que possui uma resistência ôhmica de baixo valor como característica, e quando utilizado para medição de corrente deve ser instalado em série com o circuito que se pretende realizar a leitura, sendo que a sua leitura é realizada pela queda de tensão sobre este resistor. (NI, 2017).

2.3.2 Sensor de Efeito Hall

Sensor de efeito Hall tem o seu princípio de funcionamento baseado no efeito Hall, descoberto por Edward E. Hall em 1879. Seu efeito é a propriedade que se manifesta em um condutor quando um campo magnético perpendicular ao fluxo de corrente é aplicado a ele, a diferença de potencial gerada no condutor é denominada de tensão de Hall. (THOMAZINI, 2011).

Uma das vantagens da utilização deste sensor, é que podem ser medidas, tanto correntes contínuas quanto alternadas.

2.3.3 Transformador de Corrente

O transformador de corrente (TC) é um componente que reproduz em seu circuito secundário uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário, tendo esta corrente proporções definidas e conhecidas, sem alterar sua posição vetorial. (SIEMENS, 2017).

Suas relações mais utilizadas no mercado são de xx/5A e xx/1A, sendo a corrente no primário a amostra e tem como saída no secundário 5A ou 1A, esta solução é largamente utilizada em circuitos de medição, onde seria economicamente inviável medir utilizando equipamentos para altas correntes. (SIEMENS, 2017).

A Figura 7 apresenta a foto de um TC industrial da fabricante *Siemens*.

Figura 7 - Transformador de Corrente *Siemens*.



Fonte: SIEMENS, 2017.

2.4 SUPERVISÓRIO

Os sistemas supervisórios podem ser vistos como sistemas que supervisionam ou monitoram processos em uma planta industrial através da visualização de variáveis da planta que está sendo automatizada. Estes sistemas são geralmente empregados com o intuito de tornar possível o reconhecimento de prováveis falhas em componentes da planta antes que essas falhas ocorram efetivamente. (JURIZATO; PEREIRA, 2016)

A grande quantidade de processos automatizados existentes atualmente, motivam a utilização dos chamados sistemas *Supervisory Control & Data Acquisition Systems* (SCADA - Sistemas de Supervisório de Controle e Aquisição de Dados) os quais permitem a monitoração do processo em tempo real.

Uma das tarefas mais comum deste sistema é o controle estático do processo, onde ao processar as variáveis, pode confeccionar gráficos e apontar tendências para que o operador do sistema tenha a sua disposição uma tela gráfica representando o seu processo. (JURIZATO; PEREIRA, 2016).

2.4.1 Sistema SCADA

Os primeiros sistemas SCADA eram basicamente telemétricos, informavam de tempos em tempos o estado corrente do processo e permitiam o monitoramento destes sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, por meio de painéis de lâmpadas e indicadores. Mesmo nessas primeiras versões, estes sistemas melhoravam a eficiência do processo de monitoração e controle, disponibilizando em tempo útil o estado do sistema por meio de previsões gráficas e relatórios, onde possibilitavam a tomada de decisões operacionais apropriadas. (ROSARIO, 2009).

Atualmente estas interfaces estão muito mais amigáveis, utilizando interface home-maquina (IHM) com tecnologias computacionais que permitem visão e/ou controle de sistemas automatizados.

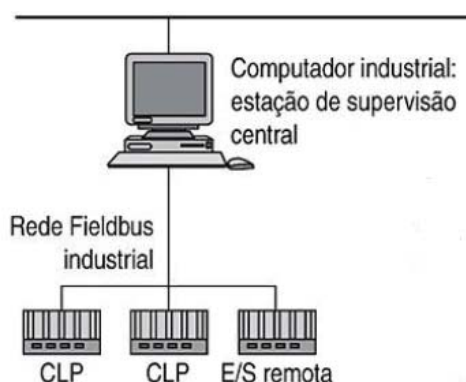
As principais características de um sistema supervisório devem ter: uma interface amigável com o usuário, uma geração automática de relatórios, um histórico de tendências, gerenciamento das condições de alarme, acesso compartilhado e remoto e acesso automático ao banco de dados. (ROSARIO, 2009).

2.4.2 Estrutura de um Supervisório

A base de um sistema supervisório consiste pela inclusão de um computador a um sistema de controle já implementado ou não, na maioria dos casos industriais, formado por um controlador lógico programável (CLP) e seus periféricos. Este computador será conectado ao sistema de controle por meio de protocolos de comunicação.

Conforme se pode observar na Figura 8, onde se tem uma rede que se utiliza de um tipo de protocolo industrial.

Figura 8 - Rede de um sistema supervisório.



Fonte: Adaptado ROSARIO (2009, p285).

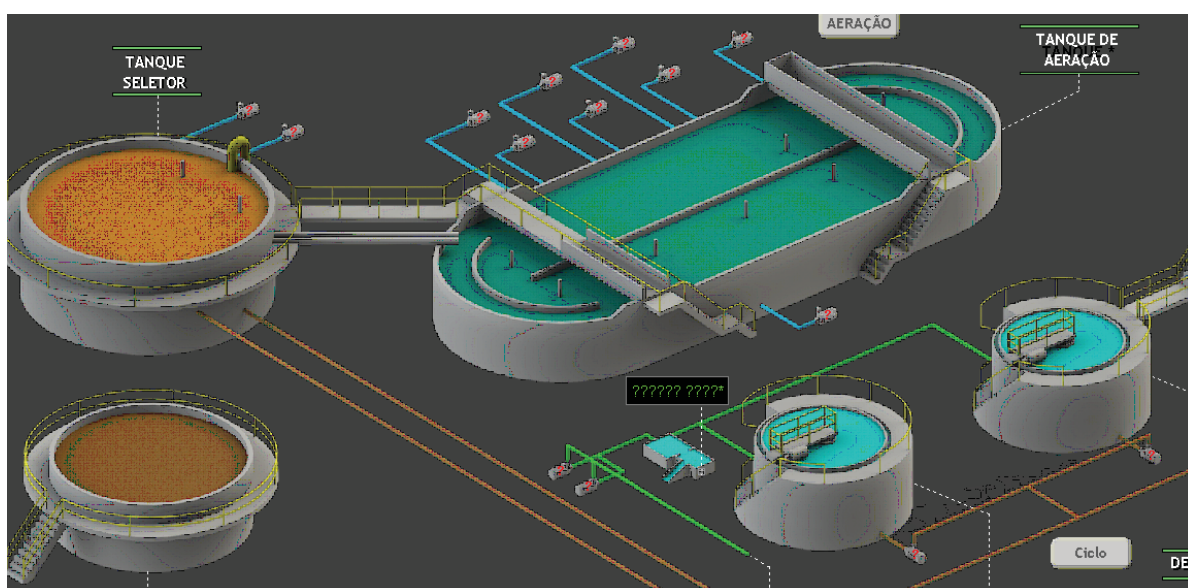
2.4.3 Interface com o Usuário

Existem inúmeras possibilidades de construção das telas que servem como IHM para o usuário, dependendo, basicamente, da visão do processo do programador.

Estas telas devem ilustrar o processo com seus parâmetros e variáveis, podem conter também alguns elementos lógicos como botões liga/desliga, caixa de textos, caixa de valores de set point entre outros objetos.

Na Figura 9, podemos observar um exemplo de tela de um supervisório realizado no *software Factory Talk View*, da fabricante *Rockwell Automation*.

Figura 9 - Tela de uma Supervisório.



Fonte: Próprio Autor.

Podemos observar acima o exemplo de um supervisor de uma estação de tratamento de efluentes (ETE), onde se recebe informações do sistema em tempo real, e tem-se a possibilidade de atuar no mesmo, mandando iniciar/parar ciclo e testes de motores e válvulas.

2.5 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

A utilização de redes permite uma comunicação rápida e confiável entre equipamentos industriais, como por exemplo entre controladores mestre/escravo de entradas e saídas de informações com um sistema supervisor.

2.5.1 Protocolo *ModBus*

Trata-se de um protocolo aberto, normalmente utilizado em comunicação série, teve sua origem em 1971, desenvolvido pela empresa *Modicon Inc.* A forma de troca de dados é através de mensagens partidas inicialmente do mestre e sempre contendo uma resposta do respectivo escravo. Possuem como padrões os meios físicos RS-232 permitindo um máximo de 15 metros entre o início e o fim de rede e RS-485 que pode atingir um máximo de 1200 metros. (BORGES, 2016).

Existem dois modelos padrões para este protocolo:

O *Modbus-ASCII*, trabalha com caracteres codificados em 7 bits de dados e 1 bit de paridade.

O *Modbus-RTU* é o mais utilizado, trabalhando com 8 bits de dados e 1 bit de paridade.

2.5.2 Protocolo *Profibus*

Tem como características principais a sua velocidade, gestão de dados e distâncias compatíveis com controle de processos complexos. Sua rede é baseada em RS-485, podendo ter até 127 dispositivos, com um máximo de 32 dispositivos por segmento, a uma distância de 100 a 1900 metros, podendo alcançar 24000 metros com ajuda de repetidores. (SMAR, 2016).

2.5.3 Protocolo *Devicenet*

Este protocolo apresenta como vantagem a possibilidade de remover e substituir equipamentos em redes sob tensão e sem um aparelho de programação, outra grande vantagem é a possibilidade de se alimentar os dispositivos de sua rede através do próprio cabo de rede, que é composto de um duplo par trançado, onde um par é referente a transferência de dados e outro para alimentação. Pode possuir no máximo de 64 dispositivos a uma distância de até 1000 metros por segmento. (BORGES, 2016).

2.5.4 Protocolo *CANOpen*

Protocolo caracterizado pela sua abertura e baixo custo, amplamente utilizado na indústria em geral. CAN é um barramento de comunicação multi-mestre, onde ele identifica as mensagens e não os equipamentos.

A comunicação é realizada por meio de eventos, o que reduz o tráfego na rede. Os conflitos são evitados através de uma definição de níveis de prioridade, onde todos os participantes tem os mesmos direitos, por isso é possível configurar uma rede sem mestre. (BORGES, 2016).

2.5.5 *Ethernet TCP/IP*

Ethernet é uma rede em que o acesso ao meio é feito através do método *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection* (CSMA/CD), significando que, se dois nós em diferentes localizações enviarem dados ao mesmo tempo, o resultado será uma colisão dentro do meio físico. Se houver esta colisão, as mensagens são destruídas e a cada nó é atribuído um período de espera até voltar a tentar a transmissão da mensagem de novo. Ainda existem regras para evitar estes conflitos na rede e proteger a integridade dos dados, antes de transmitir um dado, o nó pode ler a rede para ver se há outro nó transmitindo, podendo assim determinar se deve transmitir ou não no determinado instante. (BORGES, 2016).

A *Ethernet TCP/IP* utiliza-se dos protocolos *Transport Control Protocol* (TCP – Protocolo de controle de transporte), *Internet Protocol* (IP- Protocolo de internet), onde a função primária do TCP é de garantir que todos os pacotes de dados são recebidos corretamente, enquanto a função do IP é a de garantir que as mensagens são endereçadas e abordadas corretamente. (ABB, 2016).

Algumas organizações desenvolveram a partir dos seus protocolos níveis de aplicação para *Ethernet* TCP/IP. Atualmente os mais conhecidos são: *Ethernet/IP*, *Profinet*, *Modbus/TCP*.

2.5.5.1 *Ethernet/IP*

A *Ethernet/IP* é um protocolo de camada de aplicação industrial para uso em redes de automação. O termo IP significa *Industrial Protocol* (protocolo industrial) e não deve ser confundido com o termo IP descrito anteriormente. A *Ethernet/IP* usa todos os protocolos de *Ethernet* tradicionais, incluindo TCP/IP. (SIEMON, 2016).

Por basear-se em tecnologias padronizadas para *Ethernet*, a *Ethernet/IP* opera de modo transparente com todos os dispositivos padrão *Ethernet* disponíveis no mercado atualmente.

2.5.5.2 *Profinet*

A rede *profinet* caracteriza-se sendo a rede *profibus* sobre a *ethernet*. Basicamente há dois tipos de *profinet*, a *profinet IO* e a *profinet CBA*, onde a primeira é usada em aplicações em tempo real e necessita de transferência de dados em alta velocidade. Já o segundo tipo, *profinet CBA* é utilizado onde o tempo não é crítico, como por exemplo, na conversão de uma rede *profibus*. (PROFIBUS, 2016).

2.5.5.3 *Modbus/TCP*

Modbus/TCP ou também chamado de *Modbus TCP/IP* é simplesmente o protocolo *Modbus RTU* com uma interface TCP que roda sobre a *ethernet*. TCP/IP define apenas o meio de transmissão para o *Modbus/TCP*, onde o mesmo não define o que os dados significam e como eles serão interpretados. (ABB, 2016).

2.6 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador revolucionou o projeto de sistemas eletrônicos digitais e de outros sistemas que até então eram puramente analógicos. Devido a sua versatilidade de *hardware* e *software* que reúnem em um só chip vários elementos, diferente dos microprocessadores, que

por sua vez, necessitam de periféricos para funcionar, um microcontrolador engloba em seu chip, memória, temporizadores, contadores de evento, canal de comunicação, portas de entradas e saídas, etc. (DA SILVA, 2000).

2.6.1 Microcontrolador da família PIC

Peripheral Interface Controller (PIC – Controlador Integrado de Periféricos) é um microcontrolador produzido pela *Microchip Technology Inc.*

Existe uma ampla gama de modelos para que possam se adaptar as exigências de projetos específicos, onde estes diferenciam-se pelo número de linha de entradas e saídas, memória, processamento, etc., Inicia-se com modelo pequeno identificado pela sigla PIC12Cxx dotado de apenas 8 pinos, até chegar a modelos maiores com sigla PIC16Cxx dotados de 40 pinos. (ANTONIO, 2006).

2.6.2 Microcontrolador da família ARM Cortex -M

ARM Cortex-M é uma família de processadores com um grande escala, é a escolha mais popular para aplicações embarcadas, tendo licenciado mais de 200 parceiros. Usando um processador padrão permite que os parceiros da ARM possam criar dispositivos onde estes focam-se em criar implementações superiores para suas plataformas. (ARM, 2006).

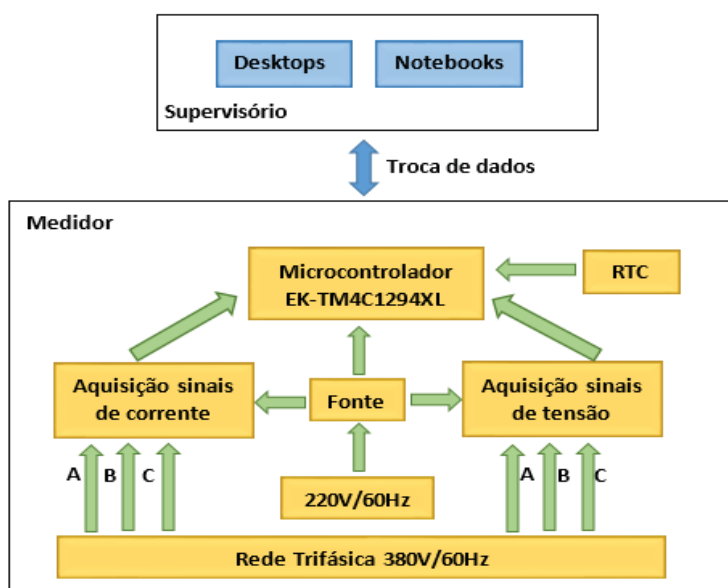
O microcontrolador trabalha com um conjunto de instruções de alta densidade, fazendo com que o desenvolvedor possa fazer implementações de grande porte sem códigos fontes de várias linhas, onde mantém também um padrão global entre diversos fabricantes, o que torna o código fonte compatível.

3 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

O presente projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de um protótipo que realiza a leitura do consumo de energia elétrica apresentando os dados para o usuário através de um computador, onde a leitura a ser entregue ao usuário é da potência elétrica trifásica ativa.

Na Figura 10 tem-se um diagrama de blocos simplificado para entendimento do sistema.

Figura 10–Diagrama de blocos.



Fonte: Próprio Autor.

A seguir serão descritos os blocos do diagrama da Figura 10 apresentando suas funções e características principais.

3.1 SUPERVISÓRIO

Parte do sistema responsável pela interface com o usuário, apresentando os dados adquiridos e calculados pelo processador de forma simples e de fácil entendimento. Os dados a serem transmitidos são de potência trifásica ativa, de tensões e correntes para cada fase.

Esta interface será realizada por meio de uso de computadores conectados a mesma rede que o medidor, fazendo-se necessário apenas um navegador *web* instalado no sistema operacional para que se possa ter acesso aos dados fornecidos pelo medidor.

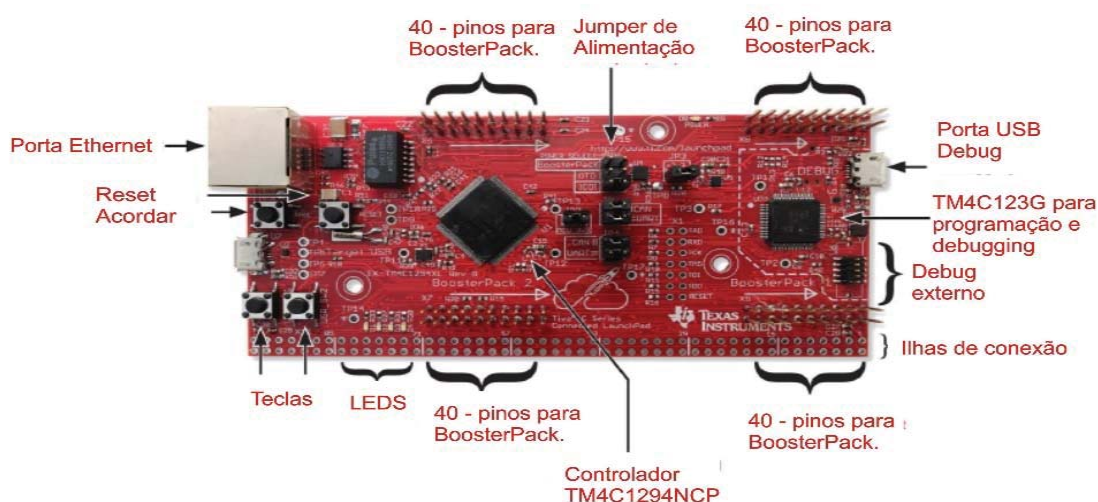
3.2 MICROCONTROLADOR

Responsável pela parte de controle, tratamento e envio dos sinais provenientes dos sensores instalados na rede elétrica. Onde são realizadas as digitalizações de seis sinais analógicos, sendo eles de corrente e tensão provenientes das três fases do sistema elétrico.

O KIT escolhido para o projeto foi EK-TM4C1294XL da fabricante *Texas Instruments*. O KIT fornece o microcontrolador TM4C1294NCPDTI. Este microcontrolador é da família ARM *Cortex-M4F* de 32 bits com 1024 kB de memória *Flash* e arquitetura RISC e sendo possível utilizar de um *clock* de operação de até 120MHz.

Na Figura 11 temos a ilustração do KIT escolhido.

Figura 11- KIT EK-TM4C1294XL.



Fonte: Adaptado INSTRUMENTS (2017).

O KIT foi escolhido devido a atender as características do projeto quanto a aquisição de dados no uso dos conversores analógicos/digitais (A/D) onde há 20 portas analógicas com uma frequência de aquisição de dados que pode chegar a 2MPBs, contém ainda várias portas de entradas e saídas que podem ser usadas como interrupções independentes. Outra particularidade a qual levou a escolha deste KIT foi o seu designer para conexão com a rede *Ethernet* usando o conector RJ45, onde a *Ethernet* embarcada neste KIT pode ser programada como um servidor HTTP.

Na Tabela 1 encontram-se algumas particularidades que foram utilizadas do KIT.

Tabela 1 - Itens Utilizados do KIT EK-TM4C1294XL.

Item	Descrição	Característica	Utilizado
Processador	TM4C1294NCPDTI		Sim
Depurador	Usb/jtag	Conexão miniusb	Sim (programação)
Comunicação	Ethernet	10/100Mbits	Sim
Leds	Led	Diodo emissor de luz	Sim
Teclas	Botão de pressão	Chaves	Apenas para reset
I/O	Pinos	Conexões da placa	Sim
Fonte	Regulador	+3,3V	Sim

Fonte: Adaptado INSTRUMENTS (2017).

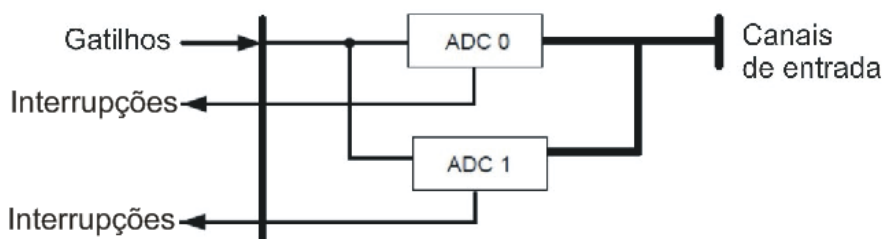
3.2.1 Conversor analógico-digital (ADC)

Segundo Toulson e Wilmshurst (2016), sinais analógicos podem ser convertidos em representações digitais com sua frequência e resolução definidas pelo ADC. O processo de digitalização passa pelas etapas de amostragem e quantização. Na amostragem, obtém-se as amostras digitalizadas em tempos discretos, no processo de quantização, as amostras são mapeadas e representadas digitalmente conforme a resolução do ADC.

O ADC do microcontrolador TM4C1294NCPDT tem uma resolução de 12 bits e conta com 20 entradas analógicas, contendo dois módulos ADC idênticos, estes dois blocos compartilham as 20 entradas analógicas.

Cada um dos blocos opera de modo independente e podem executar diferentes sequencias de conversão, convertendo qualquer uma das entradas analógicas a qualquer momento, gerando diferentes interrupções. A Figura 12 mostra como os dois módulos são conectados as entradas analógicas e ao barramento do sistema. (INSTRUMENTS, 2017).

Figura 12 - Módulos ADC.



Fonte: Adaptado de INSTRUMENTS (2017).

Os valores limites de digitalização para estes ADCS vão de 0 a 4095, onde 0 corresponde ao nível de tensão equivalente a V_{REFN} , e 4095 corresponde ao nível de tensão de V_{REFP} . Esta configuração resulta em uma resolução que pode ser calculada usando a Equação (15).

$$mV = \frac{(V_{REFP} - V_{REFN})}{4096} = 0,8mV \quad (15)$$

Sendo que V_{REFP} igual a 3,3V e V_{REFN} igual a 0V as quais são referentes a alimentação do microcontrolador.

Conforme Equação (15) temos uma resolução de 0,8mV, como os módulos ADC funcionam com o método de aproximação sucessiva, esta resolução resulta em um erro máximo de 0,4mV.

Quanto maior o número de amostras, mais preciso o valor digital será, sendo que estas amostras geralmente são feitas com uma frequência constante, conhecida como frequência de amostragem. De acordo com o teorema de Nyquist, esta quantidade de amostras por unidade de tempo de um determinado sinal deve ser no mínimo maior do que o dobro da frequência do sinal a ser amostrado para que o sinal possa ser reproduzido sem erro.

No microcontrolador TM4C1294NCPDT essa frequência de amostragem pode chegar a dois milhões de amostras por segundo.

3.2.2 EEPROM

Memória EEPROM é uma memória que pode ser gravada/apagada eletricamente e retém seus dados mesmo quando a energia é desligada.

O modulo EEPROM do KIT providencia um registro bem definido de interface para o acesso a EEPROM com ambos os modos de acesso aleatório e sequencial.

As principais características do módulo são:

- 6kBytes de memória acessíveis como 1536 palavras de 32 bits.
- 96 blocos de 16 palavras.
- Proteção de acesso por bloco.
- Suporte a interrupção para escrita.
- 500.000 ciclos de gravação.

3.3 REAL TIME CLOCK – RTC

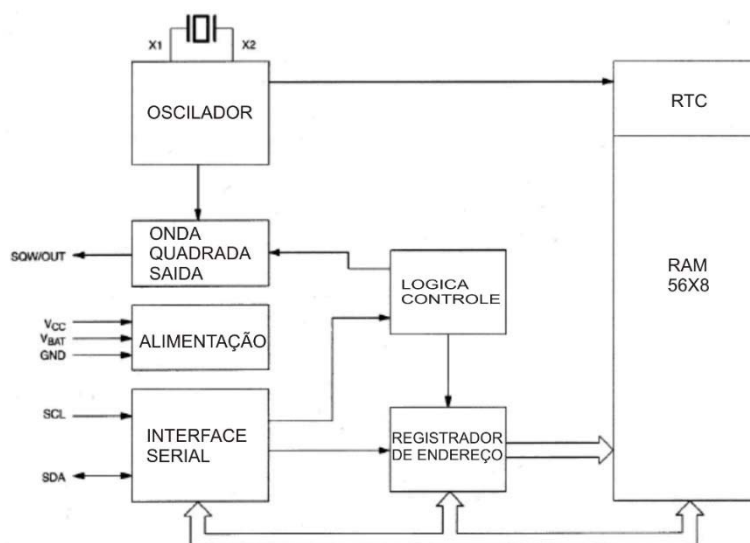
A implementação de um *Real Time Clock* (RTC) se faz interessante neste projeto pois deve-se ter o registro da hora e data em que a medição foi realizada.

O RTC é capaz de gerar um contagem de tempo de alta precisão a partir da oscilação de um cristal de precisão no valor de 32,768 kHz, estes módulos provêm ainda de alimentação secundária realizada por uma bateria de 3V, onde esta garante que o módulo continue a contagem mesmo que ocorra uma falta de alimentação da fonte principal.

Existem inúmeras opções de RTCs, o qual foi optado pelo uso do circuito integrado DS1307 produzido pela *Dallas Semiconductors* pela disponibilidade do mesmo no almoxarifado do curso e por atender as características necessárias, onde possui uma memória interna capaz de armazenar dados sobre segundo, minutos, horas, dias, dia da semana, mês e ano.

Este é capaz de manter o relógio incrementando com poucos componentes. Abaixo na Figura 13 pode-se ver um diagrama de blocos do seu funcionamento.

Figura 13 - Diagrama de Blocos do RTC.



Fonte: Adaptado INTEGRATED (2017).

3.4 AQUISIÇÃO DE SINAL DE CORRENTE

Este bloco é responsável pelo condicionamento dos sinais de corrente das três fases da rede, sendo que há a necessidade da flexibilidade de várias faixas de correntes pelo fato de que, um dos propósitos do presente projeto é a realização de um medidor que possa ser instalado em painéis no processo industrial, sendo estes de alta capacidade de corrente, o presente projeto considera que nestes painéis já estejam instalados TCs com corrente no secundário de 5A nas três fases.

Com o uso desta restrição de instalação, para suprir todas as faixas de correntes encontradas, faz-se necessário apenas a alteração no parâmetro via software da relação de transformação que é obtida nos dados técnicos dos TCs utilizados.

Com a instalação do TC, faz-se necessário o condicionamento do sinal de 0 à 5A em uma tensão a qual o A/D do microcontrolador suporte, sendo esta tensão de 0 à 3,3V.

3.5 AQUISIÇÃO DE SINAL DE TENSÃO

Bloco responsável pelo condicionamento dos sinais de tensão da rede trifásica para níveis de tensão o qual o A/D do microcontrolador suporte, sendo os níveis de tensões suportados de 0V à 3,3V. Os níveis de tensão nominais da rede que este circuito deverá operar são de 220V de fase e 380V de linha.

3.6 FONTE

Analizando os componentes e os blocos descritos na Figura 10, obteve-se a necessidade da utilização de duas tensões de alimentação, sendo estas de +5V e -5V devido ao uso de amplificadores operacionais os quais usam alimentação negativa.

Na

Tabela 2 encontra-se os valores do consumo de corrente da fonte de +5V.

Tabela 2 - Correntes para Fonte de +5V.

Componente	Consumo (mA)
KIT EK-TM4C1294XL	1000Max (350 utilizado)
Aquisição sinais de corrente	30
Aquisição sinais de tensão	30
Rtc	1,5
Display	4

Fonte: Próprio Autor.

Para o KIT Ek-TM4C1294XL, a corrente apresentada na tabela acima se refere a corrente máxima que a placa pode drenar, porém a corrente utilizada pela placa neste projeto será de aproximadamente 350 mA.

Na Tabela 3 encontram-se os valores das correntes que a fonte de -5V deve suprir.

Tabela 3 - Correntes para Fonte de -5V.

Componente	Consumo (mA)
Aquisição sinais de tensão	30
Aquisição sinais de corrente	30

Fonte: Próprio Autor.

3.7 SOFTWARES

Neste tópico serão abordados os *softwares* necessários para elaboração do projeto proposto.

3.7.1 Isis

Software desenvolvido pela empresa *Labcenter Eletronics*, onde tem por sua maior finalidade a criação de esquemáticos de circuitos eletrônicos, onde possibilita também a realização de simulações dos circuitos projetados o que auxiliam no desenvolvimento do trabalho. (LABCENTER, 2017).

3.7.2 Ares

Software desenvolvido pela empresa *Labcenter Eletronics*, onde possibilita a captura do esquemático dos circuitos projetados no *Isis* para que possa ser produzido o *layout* da placa de circuito impresso, onde há uma interatividade entre os *softwares*, alterando uma conexão no *Isis*, altera-se imediatamente no *Ares*. O *Ares* possibilita a geração de arquivos para a confecção das placas em fresas e em máquinas tridimensionais. (LABCENTER, 2017).

3.7.3 IAR Embedded Workbench

Fornecido pela empresa *IAR System*, o compilador *IAR Embedded Workbench* é um ambiente que comporta as linguagens C e C++ incorporado para dispositivos processadores microcontrolados de diversos fabricantes. (IAR EMBEDDED WORKBENCH, 2017). A *IAR Systems* disponibiliza um conjunto de drivers para acessar recursos específicos do processador ou periféricos, os quais se adaptam à placa utilizada, além disso também são fornecidos exemplos para utilização desses recursos, os quais são de autoria da *Texas Instruments*.

A linguagem de programação a ser utilizada é C onde para o melhor desempenho do algoritmo proposto, as funções desenvolvidas baseiam-se na biblioteca específica *TivaWare*, o qual é fornecida e desenvolvida pela *Texas Instruments* de forma gratuita.

3.7.4 Adobe DreamWeaver

O *DreamWeaver* CS6 é uma ferramenta poderosa de construção e edição de sites, onde consiste em uma combinação de elementos que auxiliam no desenvolvimento de forma prática e objetiva com um visual interativo onde no ambiente de criação, é automaticamente atualizada a interface gráfica, o que permite uma visualização do designer atual da página *web* em desenvolvimento. (WEINMAN e WEINMAN, 1998).

Este programa possui amplo suporte às linguagens de programação para desenvolvimento *web*, na Tabela 4 pode-se observar as linguagens utilizadas no *DreamWeaver*.

Para consulta e criação dos códigos implementados, utilizou-se algumas referências do ambiente disponibilizado pelo site da *W3schools*, o qual fornece para os alunos desenvolvedores rotinas livres para aprendizado. (W3SCHOOLS, 2017).

Tabela 4 - Linguagens utilizadas no DreamWeaver.

Linguagem	Descrição	Característica
HTML	Texto em demarcação	Desenvolvimento do <i>layout</i> da página <i>WEB</i>
JAVASCRIPT	Obtenção dos dados	Dinâmica do conteúdo

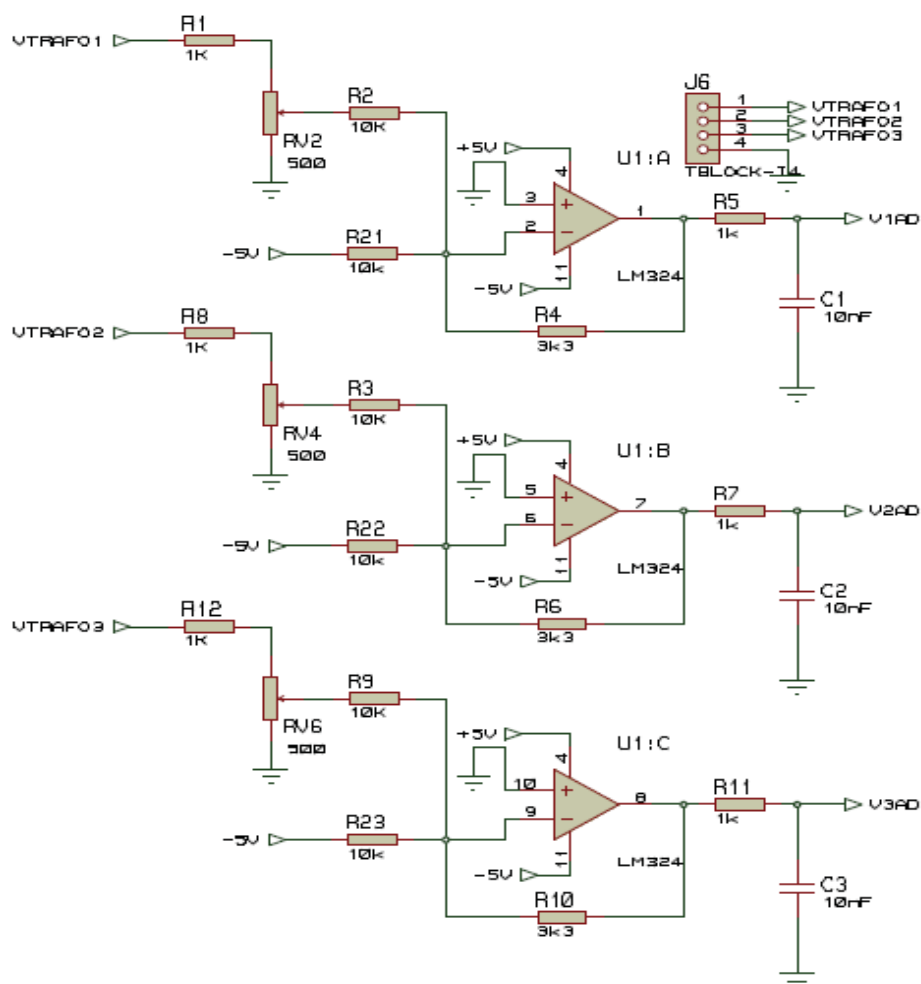
Fonte: Próprio Autor.

transformadores isoladores que rebaixam os níveis de tensões compatíveis com o microcontrolador, estes transformadores tem sua entrada 220Vrms e saída 12Vrms conectados a placa através de bornes de conexão do tipo Tblock.

Através de um divisor de tensão composto por um trimpot (RV2, RV4 e RV6) e um resistor (R1, R8 e R12) para cada fase, tem-se um nível de tensão fracionado 2,5/200, ou seja, a cada 200 volts de pico da rede, na entrada do amplificador apresentará 2,5 volts.

O próximo estágio tem-se um amplificador operacional na configuração de somador inversor com ganho de 1/3, devido a tensão máxima proveniente do divisor resistivo ser simétrica de +3,88 à -3,88 volts de pico quando aplicada a tensão nominal de rede, sendo esta de 220Vrms, soma-se com uma tensão fixa de -5V conforme Figura 15.

Figura 15 - Circuito de Aquisição de Sinal de Tensão.



Fonte: Próprio Autor.

A equação do somador inversor é mostrada nas Equações (16) e (17) tomando como referência o circuito da fase 1, sendo que para as outras fases os circuitos são idênticos.

$$v_o = -R_4 \left(\frac{v_1}{R_2} + \frac{v_2}{R_{21}} \right) = -3,33k \left(\frac{v_1}{10k} + \frac{-5}{10k} \right) \quad (16)$$

$$v_o = -0,33v_1 + 1,65V \quad (17)$$

Com base na Equação (17) pode-se notar que o circuito terá um ganho de -0,33 no sinal proveniente do divisor resistivo, contara com um *offset* de 1,65V e um sinal com amplitude de 2,56V quando a tensão de fase for de 220Vrms variando de 0,37V à 2,93V ficando dentro da faixa do microcontrolador que é de 3,3V. Também é possível registrar valores de tensões acima da nominal, caso elas venham a ocorrer, sendo que o máximo valor de tensão que o medidor é capaz de ler é de 395V de pico ou 280Vrms conforme Equação (18).

$$v_{imax} = \left(\frac{V_{ad} - 1,65}{0,333} \right) \left(\frac{200}{2,5} \right) = \left(\frac{3,3 - 1,65}{0,333} \right) \left(\frac{200}{2,5} \right) = 395V_{pico} \quad (18)$$

A Equação (18) foi deduzida realizando os cálculos reversos apresentados na Equação (17) juntamente com a relação do divisor de tensão.

Os resistores (R5, R7 e R11) servem para limitar a corrente para o pino de entrada do microcontrolador e também junto com os capacitores (C1, C2 e C3) formam um filtro passa baixa para atenuar o ruído das altas frequências, ruído esse que possa comprometer as leituras realizadas pelo A/D. Abaixo o cálculo do filtro na Equação (19).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1k \cdot 10n} = 15,9kHz \quad (19)$$

4.1.2 Aquisição do Sinal de Corrente

Para o circuito de aquisição e condicionamento dos sinais de corrente, foram utilizados três resistores (R17, R37 e R42), um para cada fase, para realizar a conversão do sinal de corrente para tensão, sendo este resistor de 0,1 ohms. Abaixo nas Equações (20) e (21) pode-se observar a tensão máxima obtida com este resistor e a potência que o mesmo deve suportar.

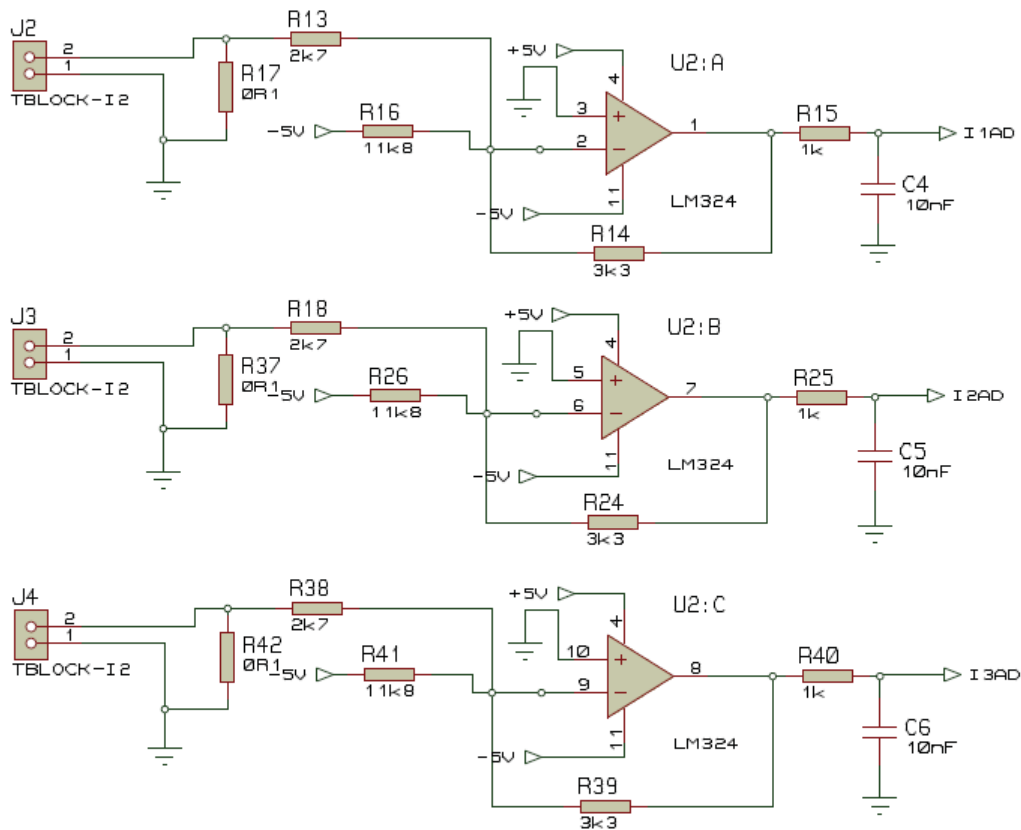
$$V_{max} = I_{max} \cdot R = 5 \cdot 0,1 = 0,5V \quad (20)$$

$$P_{max} = I_{max}^2 \cdot R = 5^2 \cdot 0,5 = 2,5 W \quad (21)$$

Devido a disponibilidade no almoxarifado, foram usados resistores de 5W, os quais suprem as necessidades do projeto.

No próximo estágio tem-se um amplificador operacional na configuração de somador inversor com ganho de 1,23, devido a tensão máxima proveniente do resistor de potência ser simétrica de +0,707 à -0,707 volts de pico, soma-se com uma tensão fixa de -5V, conforme Figura 16.

Figura 16 - Circuito de Aquisição de Sinal de Corrente.



Fonte: Próprio Autor.

A equação do somador inversor é mostrada nas Equações(22) e (23) tomando como referência o circuito da fase 1, sendo que para as outras fases os circuitos são idênticos.

$$v_o = -R_{24} \left(\frac{v_1}{R_{18}} + \frac{v_2}{R_{26}} \right) = -3,33k \left(\frac{v_1}{2,7k} + \frac{-5}{11,8k} \right) \quad (22)$$

$$v_o = -1,233v_1 + 1,4V \quad (23)$$

Com base na Equação (23) pode-se notar que o circuito terá um ganho de -1,233 no sinal proveniente do resistor de potência. Contara com um *offset* de 1,4V e um sinal com amplitude de 1,8V quando a corrente do TC for de 5A variando de 0,5V à 2,3V ficando dentro da faixa do microcontrolador.

Os resistores (R15, R25 e R40) servem para limitar a corrente para o pino de entrada do microcontrolador e também junto com os capacitores (C4, C5 e C6) formam um filtro passa baixa para atenuar o ruído das altas frequências, ruído esse que pode comprometer as leituras realizadas pelo a/d. Abaixo o cálculo do filtro na Equação (24).

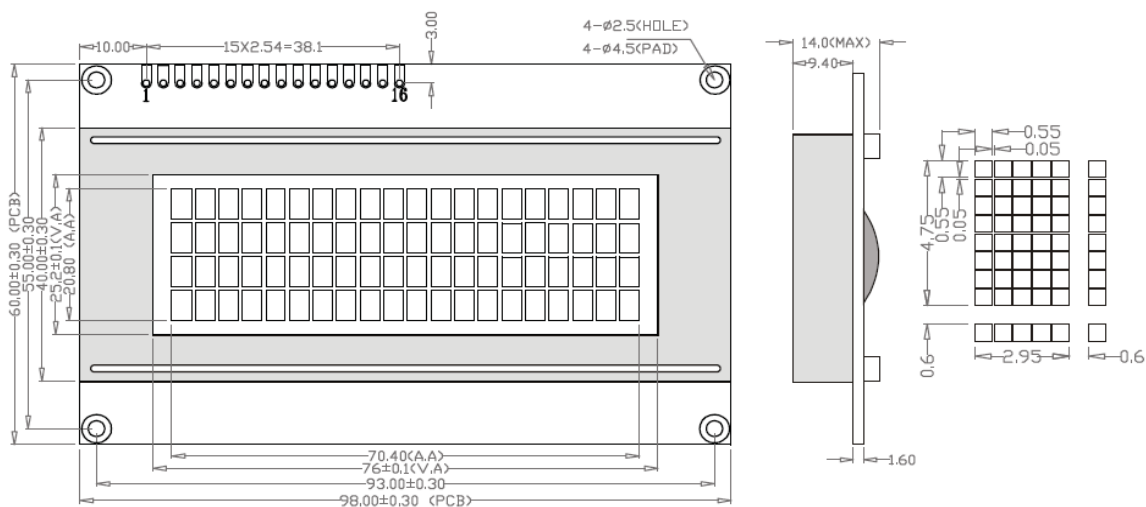
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1k \cdot 10n} = 15,9kHz \quad (24)$$

4.1.3 Display

Para mostrar o IP gerado automaticamente e os valores dos dados digitalizados no local, foi utilizado um *display* lcd de 20 linhas por 4 colunas onde cada caractere é composto de uma matriz de 5 x 7 pontos. O *display* utiliza uma alimentação de 5 VDC e usa um barramento de comunicação paralelo com uma rotina de comunicação definida.

Abaixo na Figura 17 temos a disposição dos caracteres do *display*.

Figura 17 - Display 4x20.



Fonte: Adaptado ETC1, 2017.

A conexão de dados, iluminação e alimentação é dada através de um barramento de 16 pinos conforme Figura 18.

Figura 18 - Barramento de dados *Display*.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V _{SS}	V _{DD}	V ₀	RS	R/W	E	DB0	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LEDK	LEDA

Fonte: Adaptado ETC1, 2017.

Onde:

1=V_{SS} = GND;

2=V_{DD} = 5 Vdc;

3=V₀ = Entrada do controle do contraste;

4=RS = registrador de instrução ou dado;

5=R/W = registrador que define se é leitura ou escrita no *display*;

6=E = Pino de habilitação do *display*;

7-14=DB0-DB7 = Pinos de dados;

15=LEDK = Cátodo do led de iluminação do *display*;

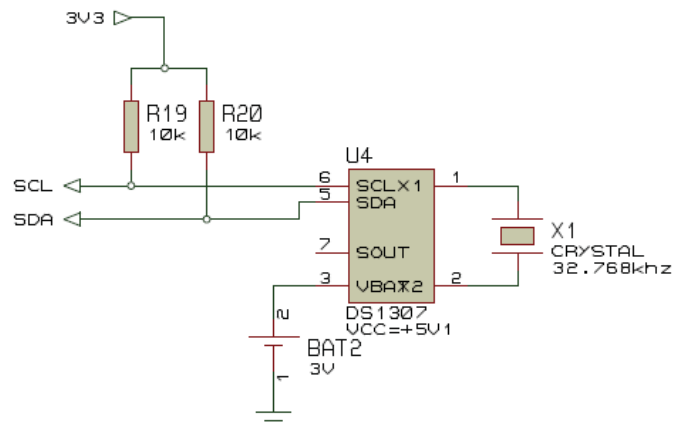
16=LEDA = Ânodo do led de iluminação do *display*;

A conexão do *display* é realizada através de conectores conectados na superfície do microcontrolador, o qual pode ser desconectado quando necessário sem alteração no funcionamento do sistema em geral.

4.1.4 Real Time Clock – RTC

Na Figura 19 temos o circuito para o funcionamento do RTC. Os resistores (R19 e R20) servem de resistores de *pull-up* para linha *Serial Data* (SDA) e *Serial Clock* (SCL) que vão para o microcontrolador, onde o SDA é a linha de dados e SCL é o *clock* de sincronismo dos circuitos. BAT1 representa a fonte de energia responsável por manter o circuito interno do relógio funcionando mesmo quando a alimentação é desligada, X1 é o cristal responsável pelo *clock* do RTC o qual é especificado pelo fabricante.

Figura 19 - Diagrama Elétrico do RTC.



Fonte: Próprio Autor.

A alimentação deste circuito é conectada a +5V porém sua interface I2C é conectada pelos resistores de *pull-up* a 3,3V o qual é o nível lógico que o microcontrolador suporta. A tensão de 3,3V é provida do próprio KIT do microcontrolador.

Sabendo que a bateria utilizada para o RTC DS1307 é a CR2032 de 3V, é possível calcular o tempo de duração da bateria através dos dados obtidos pelo *datasheet* da bateria e fabricante do RTC, sendo que a capacidade de energia da bateria é de 240mAh e o consumo do RTC com o oscilador ativo e a alimentação desligada é um valor típico de 300nA, o valor máximo de consumo é de 500nA, o qual foi adotado para o cálculo da Equação (25).

$$t = \frac{240mAh}{500nA} = 480000h \approx 55 \text{ anos} \quad (25)$$

4.1.5 Microcontrolador

Levando em consideração que o microcontrolador deve suportar uma comunicação I2C para interface com o circuito RTC, uma interface *Ethernet* para comunicação com um dispositivo de monitoramento dos dados obtidos, juntamente com uma alta velocidade de processamento pois terá que realizar várias amostras da rede e processar os dados a tempo para que se tenha uma medição confiável e verdadeira, foi então utilizado o KIT EK-TM4C1294XL da *Texas Instruments* que integra um microcontrolador da família ARM com núcleo *cortex M4* conforme especificações do projeto. A figura deste KIT pode ser observada no capítulo 3, Figura 11.

Abaixo segue a Tabela 5 com os pinos utilizados do microcontrolador.

Tabela 5 - Pinos Utilizados Para Conexão da Placa Periférica.

PINO	CONFIGURAÇÃO	CONEXÃO
PB2	I2C0SCL	RTC
PB3	I2C0SDA	
PE0	AIN3	Corrente fase 1
PE1	AIN2	Corrente fase 2
PE2	AIN1	Corrente fase 3
PE3	AIN0	Tensão fase 1
PE4	AIN9	Tensão fase 2
PE5	AIN8	Tensão fase 3
PF4	LED3	Indicação do sinal <i>ETHERNET</i>
PF0	LED4	
PD3	E	Enable do <i>Display</i>
PD2	RS	Instrução para <i>Display</i>
PK0	Dados	Barramento de dados de 4 bits para <i>Display</i>
PK1		
PK2		
PK3		

Fonte: Próprio Autor.

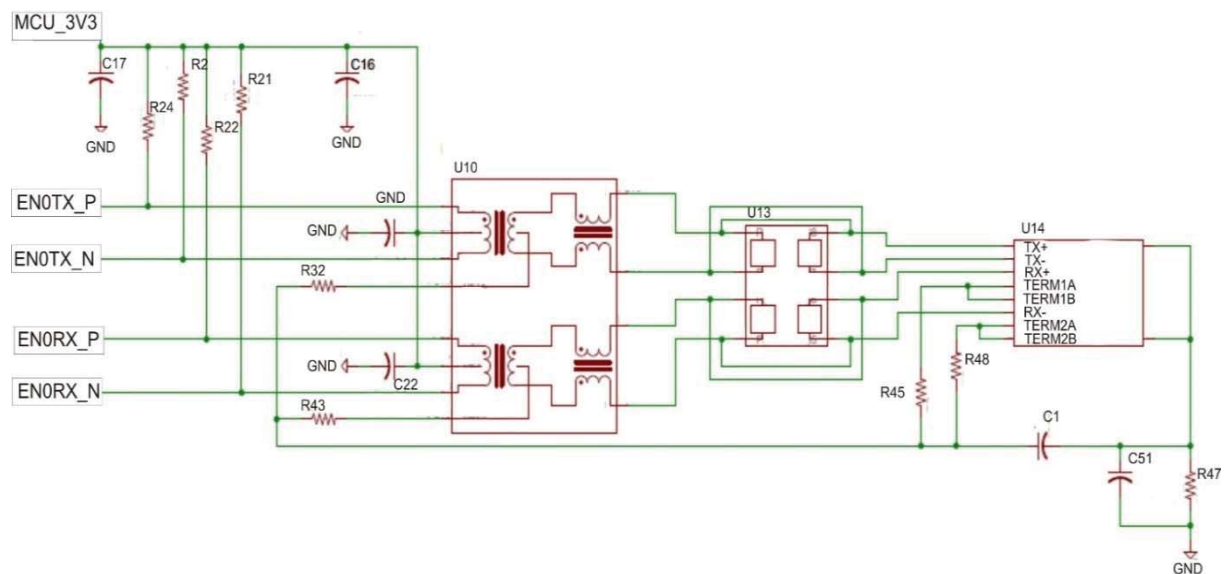
A partir das dimensões e conexões da placa do KIT adotado foi possível criar um dispositivo no software *Proteus* para se tornar mais fácil a conexão entre a placa e os periféricos de aquisição de dados.

4.1.5.1 Ethernet

Para interface de comunicação, utilizou-se a *ethernet* do KIT, para o desenvolvimento do *firmware* utilizou-se as operações disponíveis na biblioteca *TivaWare*. Nesta biblioteca encontram-se vários códigos exemplo de aplicações, onde foi usado como base do projeto o exemplo ENET_IO que se conecta a *ethernet* por TCP/IP, configurada para operar em um servidor de plataforma *web HTTP*.

A Figura 20 apresenta o esquema de ligação do microcontrolador com o conector RJ45, o qual possui isolamento da rede com o dispositivo. Quando configurado o KIT para operações com *ethernet*, o fabricante indica que seja configurado os leds D3 e D4 da placa para serem controlados pela *ethernet* os quais realizaram a indicação de conexão e o estado da transmissão/recepção da rede. (INTRUMENTS, 2017).

Figura 20 - Esquema de Conexão *Ethernet*.



Fonte: Adaptado INSTRUMENTS (2017).

4.1.6 Fonte

Conforme

Tabela 2 e Tabela 3 foram dimensionadas as fontes, analisando os circuitos e seus respectivos consumos. Foi optado pela utilização de dois reguladores de tensão de +5V e um de -5V, sendo eles LM7805 para as fontes de +5V e LM7905 para a fonte de -5V.

Para atender as especificações de tensão dos reguladores descritos acima, utilizou-se um transformador com bobina secundária de 9+9V e tap central de corrente nominal de 1A. Conforme a Equação (26) podemos calcular a tensão de pico.

$$V_{pico} = V_{rm} \cdot \sqrt{2} = 9 \cdot \sqrt{2} = 12,72V \quad (26)$$

A tensão provida pelo transformador passa por uma ponte retificadora com corrente nominal de 1A. Após a retificação, com o objetivo de obter uma tensão DC estável e minimizar o *ripple*, foram utilizados dois capacitores, um para as fontes positivas e outro para a negativa.

Para obter o valor do capacitor foi utilizada a Equação (27).

$$C = \frac{Il}{2 \cdot f \cdot V_{ripple}} \quad (27)$$

Onde: C= valor do capacitor.

Il= Corrente de Projeto.

f= frequência 60Hz.

V_{ripple}= tensão de ripple.

Calculando para o circuito de tensão positiva, o qual é o pior caso, com maior consumo, sendo este de aproximadamente 400 mA, temos a Equação (28).

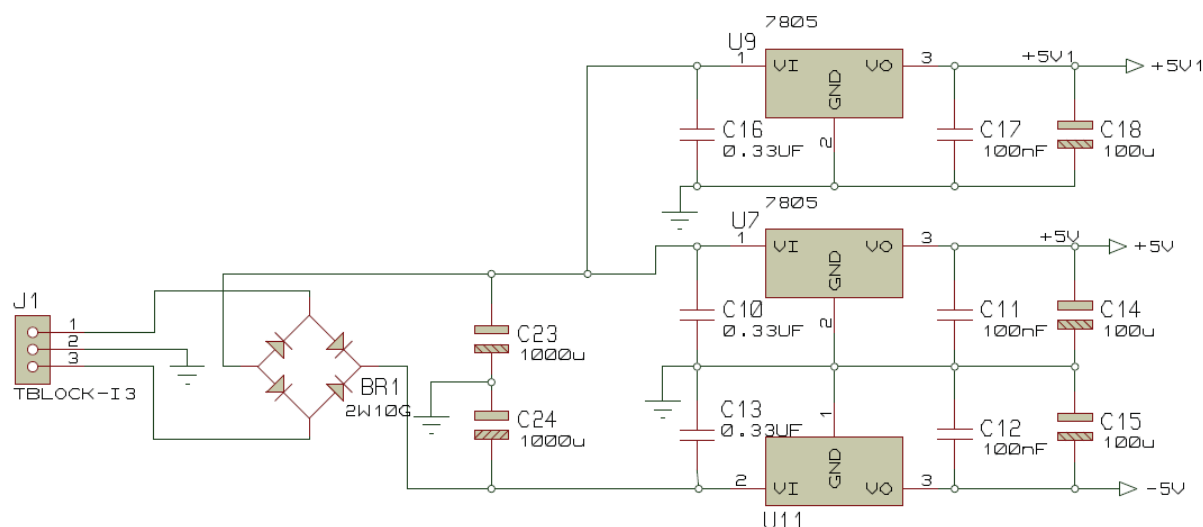
$$C = \frac{0,4A}{2 \cdot 60 \cdot 3} = 1,111mF \cong 1000 \mu F \quad (28)$$

Assim com uma tensão de *ripple de 3V* e uma queda de tensão de 0,7V em cada diodo, tem-se a tensão contínua que irá ser disponibilizada para os reguladores conforme Equação (29).

$$V_{cc} = V_{pico} - \frac{V_{ripple}}{2} - (2 \cdot 0,7V) = 12,72V - \frac{3}{2} - 1,4 = 9,82V \quad (29)$$

A Figura 21 apresenta o esquema elétrico da fonte de alimentação. Além da utilização dos capacitores recomendados pelo fabricante dos reguladores, foram utilizados capacitores eletrolíticos em cada saída dos reguladores para garantir uma tensão mais estável.

Figura 21 - Circuito da Fonte de Alimentação.



Fonte: Próprio Autor.

As fontes +5V e -5V destinam-se a alimentação dos sistemas de aquisição e condicionamento dos sinais; e a fonte +5V1 é destinada para alimentação do KIT do microcontrolador, *display* e o RTC, fazendo assim um circuito separado de alimentação dos sistemas de aquisição para garantir uma tensão mais estável para estes circuitos sem interferência externa dos outros circuitos.

4.1.7 Placas de Circuito Impresso

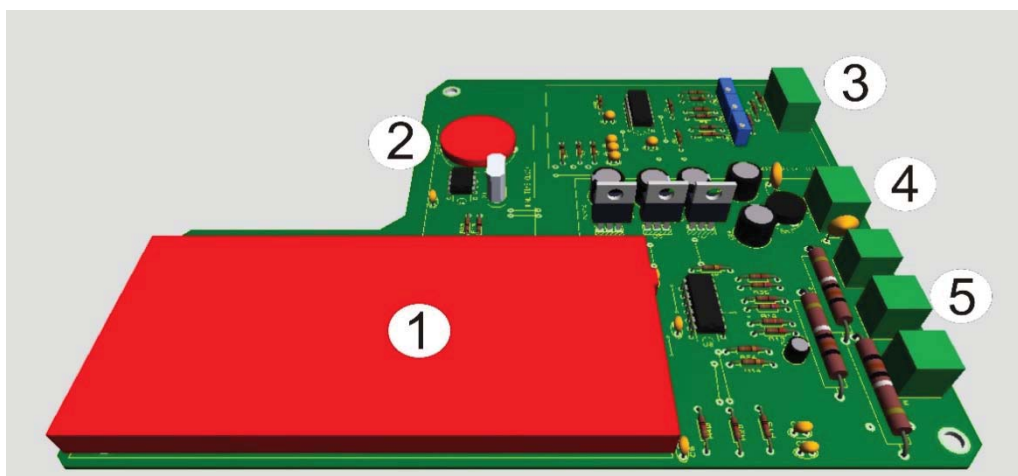
Para o projeto, foi proposto as confecções de duas placas, sendo uma para o controle, e outra para o rebaixamento das tensões de rede. Na primeira placa são encontrados o KIT microcontrolado, os circuitos de condicionamento de sinais e fonte, já para a segunda placa encontram-se os transformadores de tensão, sendo três para as aferições de tensão, um para cada fase e outro para a alimentação da fonte.

As duas placas foram projetadas para serem sobrepostas, sendo que a parte de controle é fixada acima da placa de potência. Imagens com mais detalhes das placas podem ser encontrados nos Apêndices B e C.

4.1.7.1 Layout da Placa de Controle

Na Figura 22 tem-se o *layout* em 3D gerado pelo *software* Ares, onde pode-se observar a disposição dos componentes.

Figura 22 - *Layout* placa de Controle.



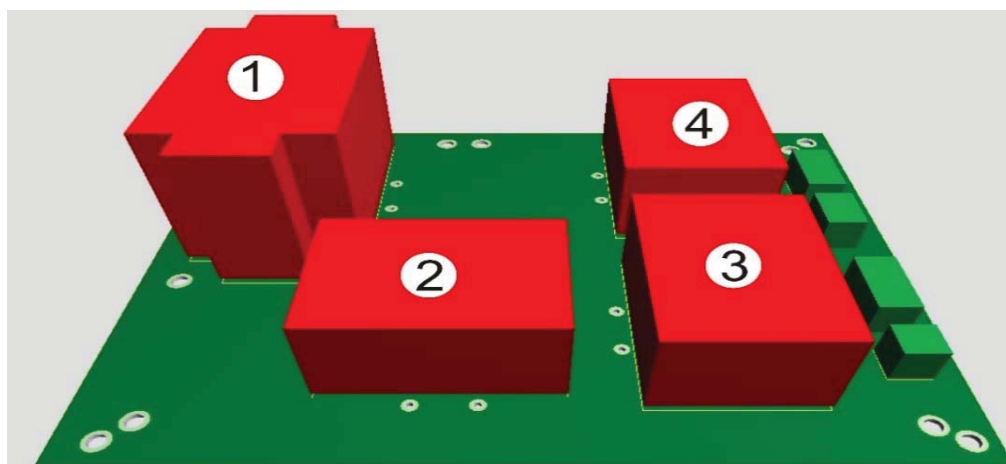
Fonte: Próprio Autor.

Conforme Figura 22, observa-se que o número 1 é referente ao KIT do microcontrolador fabricado pela *Texas Instruments*, sendo o numero 2 o circuito do RTC, número 3 é o circuito responsável pelo condicionamento da tensão, número 4 é o circuito da fonte de alimentação da placa e o número 5 refere-se ao condicionamento do sinal de corrente.

4.1.7.2 *Layout da Placa de Potência*

Na Figura 23 temos o *layout* em 3D da placa de potência gerado pelo *software Ares*, onde pode-se observar a disposição dos transformadores.

Figura 23 - *Layout* Placa de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

Conforme Figura 23, o transformador número 1 é responsável pela alimentação do circuito da fonte e os demais transformadores (número 2, 3 e 4) são responsáveis pelo rebaixamento de tensão necessário para que possa ser realizado o condicionamento do sinal, sendo eles para as fases R, S e T respectivamente.

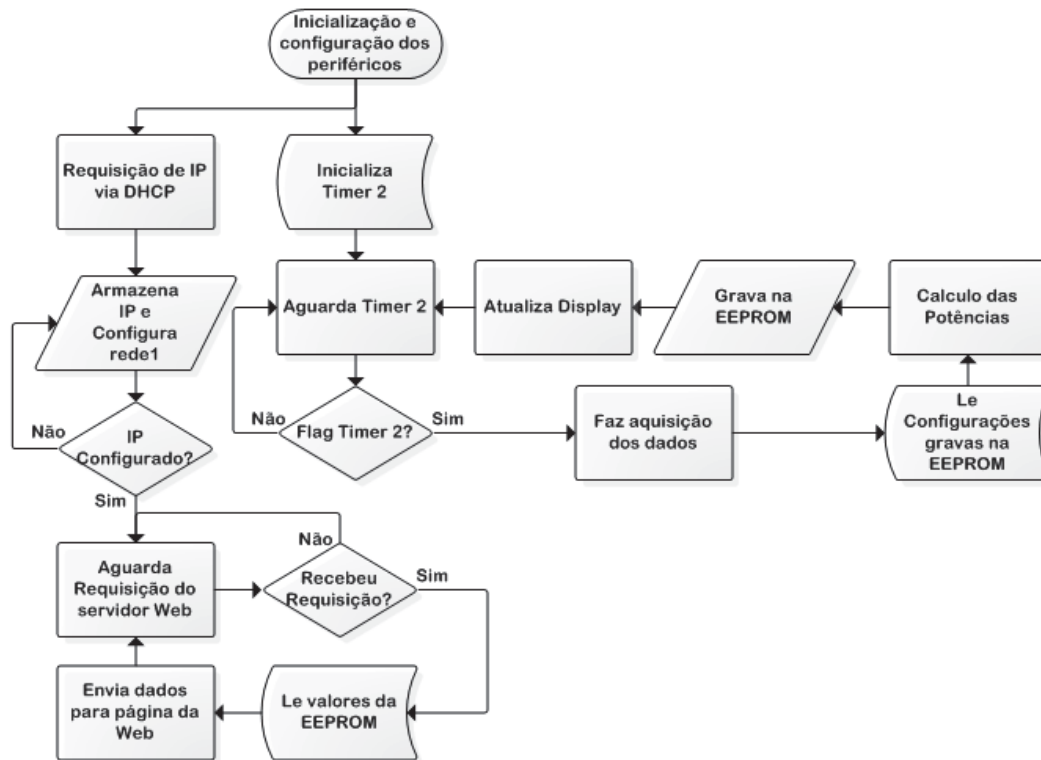
4.2 FIRMWARE

Para o desenvolvimento do *firmware* foi utilizado o *software IAR Embedded Workbench*. O *firmware* deve ser capaz de realizar medições de corrente e tensão da rede elétrica, convertê-las em potência e após isso armazená-las na memória EEPROM do microcontrolador para que quando seja requisitada a leitura via supervisor, este seja capaz de fornecê-la.

O processo consiste em quando se energiza o medidor, ele inicia todos os periféricos necessários para sua funcionalidade, logo após inicializados os periféricos, ele faz uma requisição de um IP se conectado à rede, paralelo a requisição, ele já inicializa a contagem de tempo para realizar as aquisições, onde esta é realizada através do *Timer 2*, onde o mesmo está configurado para realizar uma interrupção a cada dez segundos, que por sua vez ativará a aquisição dos dados daquele instante, após realizada as leituras, irá conferir as configurações gravadas na EEPROM para poder realizar o cálculo da potência e armazenar o valor na memória EEPROM. Este laço é infinito e sempre estará sendo processado pelo microprocessador, como o mesmo é baseado em interrupções e o *Timer 2* realiza a contagem via *hardware*, não afeta o funcionamento de outros processos que estejam rodando em paralelo.

Para a interface, quando o usuário executar uma requisição dos dados de potência, isso acarretará em uma interrupção o qual analisará o dado requisitado e o enviará para a página *web*. Juntamente com o supervisor, foi optado pela utilização de um *display* para mostrar o endereço de IP obtido pela configuração DHCP e últimas medições realizadas.

Na Figura 22 pode-se observar o fluxograma do processo explicado no parágrafo anterior, sendo este o funcionamento geral do protótipo.

Figura 24 - Fluxograma Geral do *firmware*.

Fonte: Próprio Autor.

Será explicado nos itens a seguir o processo de aquisição de dados, o cálculo das potências trifásicas e gravação da EEPROM.

4.2.1 Aquisição de dados

Para a interpretação dos sinais de tensões e correntes com a frequência da rede de 60 Hz, faz-se necessário respeitar o Teorema de Nyquist, desta forma como que o período de uma frequência de 60 Hz dura aproximadamente 16,66 mS, foi adotado a aquisição de 256 amostras por ciclo, com base nestes dados temos a Equação (30).

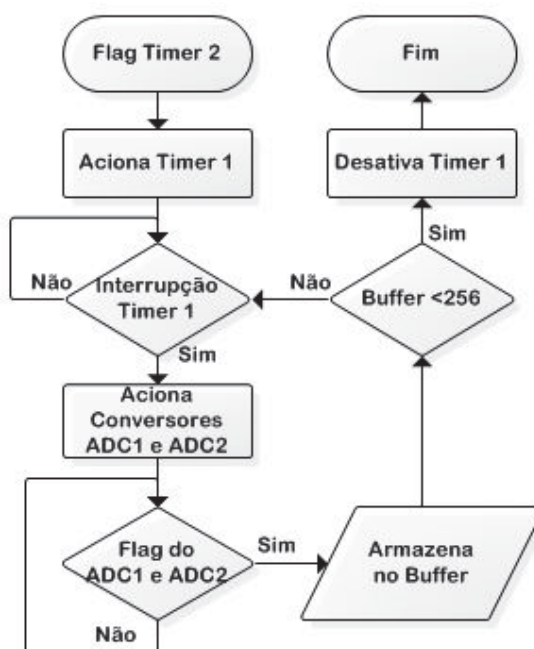
$$t = \frac{t_{ciclo}}{Amostras} = \frac{16,66 \text{ mS}}{256} \approx 65 \mu\text{S} \quad (30)$$

Este valor foi utilizado para configurar a interrupção do *Timer 1* do microcontrolador, o qual realizará as 256 amostras dentro de 16,66 mS, armazenando estes valores em *buffers*.

Como o microcontrolador *Cortex M4* tem dois módulos ADC, os quais possibilitaram a aquisição dos dados de corrente e tensão simultaneamente, pois os dois módulos funcionam de forma independente um do outro. A família *Cortex M4* possibilita ainda configurar sequenciadores para disparo dos conversores A/D, onde foram configurados de forma idêntica um sequenciador para o ADC 1 fazendo a aquisição dos três sinais de tensão e do ADC 2 fazendo a aquisição dos três sinais de corrente, sendo eles disparados ao mesmo tempo e realizando as leituras de tensão e corrente de forma paralela.

Na Figura 25 pode-se observar o funcionamento das aquisições dos sinais.

Figura 25 - Fluxograma Aquisição dos Dados.

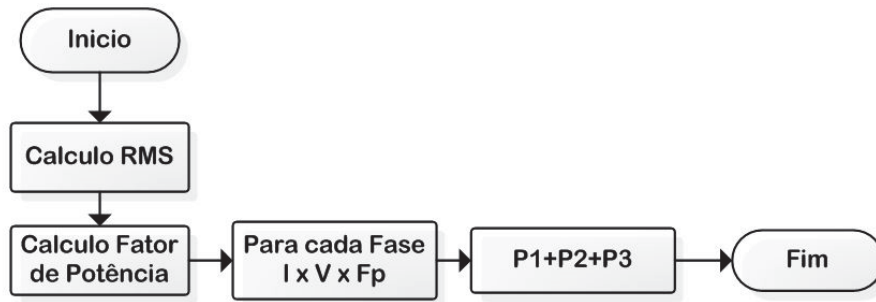


Fonte: Próprio Autor.

4.2.2 Cálculo das Potências

O cálculo das potências trifásicas foi dividido em quatro etapas, sendo a primeira o cálculo dos valores RMS, após é realizado a análise do fator de potência, calculado a potência de cada fase e por final somado as três potências para obter-se a potência elétrica total desejada conforme Figura 26.

Figura 26 - Fluxograma do Cálculo de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

4.2.2.1 Cálculo RMS

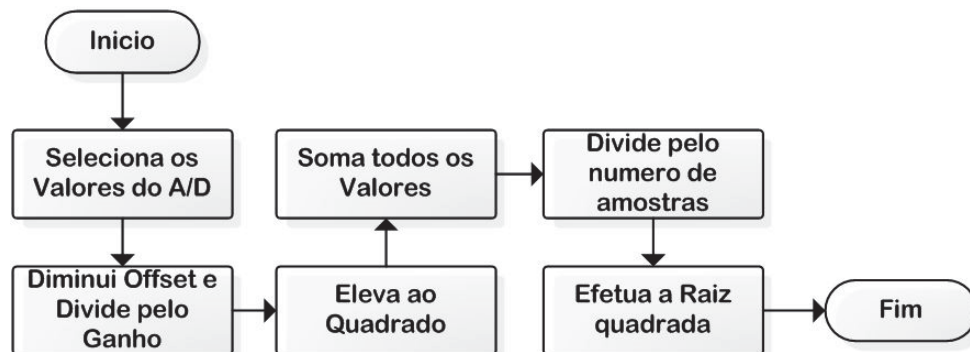
Os valores RMS são realizados através da alocação do valor digitalizado em um *buffer* de 256 posições, onde é necessário retirar o *offset* de cada valor e multiplica-lo pelo ganho da tensão ou da corrente dependendo do vetor que está sendo processado.

O *offset* citado no parágrafo acima é explicado devido ao deslocamento que os condicionadores de sinal geram para que as tensões possam ficar na faixa aceitável do microcontrolador.

Após realizados estes cálculos, cada valor é elevado ao quadrado, somado todos os 256 valores, divididos pelo número de amostras e realizada a raiz quadrada deste valor, o qual resulta no valor RMS desejado.

Na Figura 27 podemos ver o fluxograma do cálculo RMS.

Figura 27 - Fluxograma Calculo RMS.



Fonte: Próprio Autor.

4.2.2.2 Fator de Potência

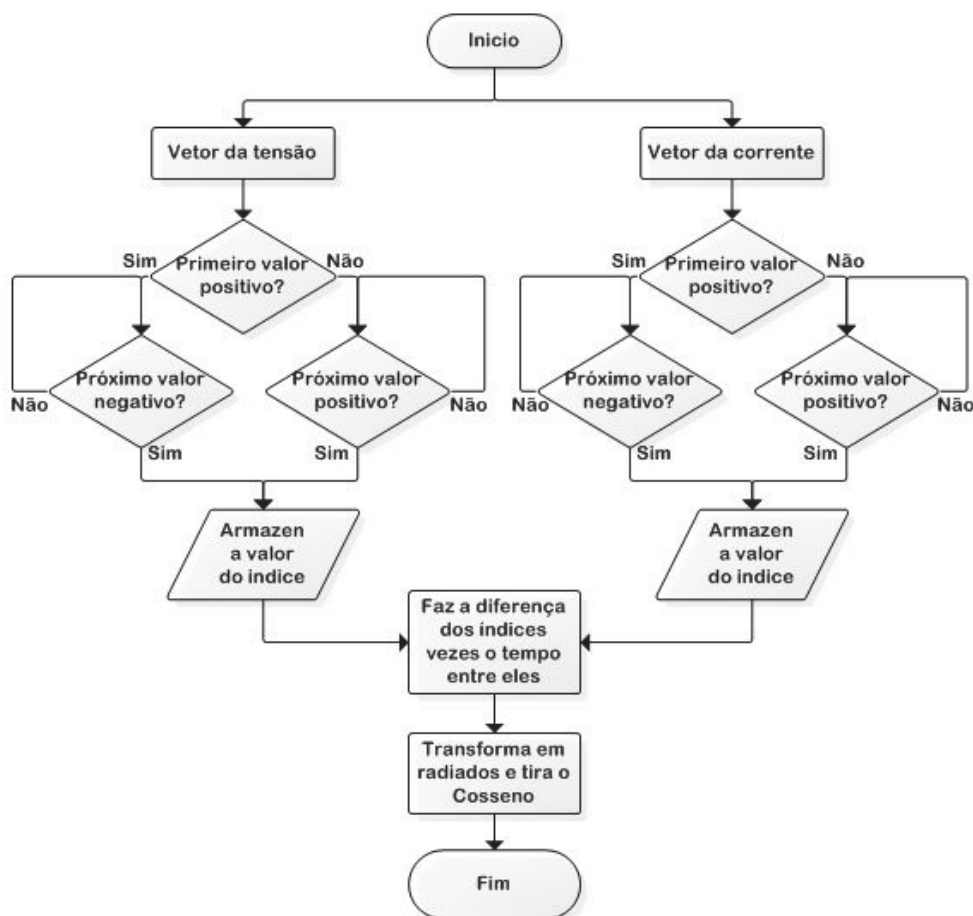
O fator de potência é calculado a partir da diferença dos índices dos vetores da tensão e da corrente, o algoritmo consiste em analisar se o primeiro valor de cada vetor é positivo ou negativo, e assim quando houver uma troca de sinal neste valor, ou seja, passar de positivo para negativo ou de negativo para positivo, armazenar o valor deste índice. Fazendo a diferença entre estes índices e multiplicá-la pelo tempo de intervalo entre amostras calculado na Equação (30), obtém-se a diferença do tempo da passagem por zero entre a tensão e corrente, seguindo que um ciclo completo de onda leva 16,66mS e é igual a 2π , através da Equação (31) obtém-se o valor do ângulo do fator de potência em radianos.

$$rad = \frac{\Delta indice \cdot 65\mu S \cdot 2\pi}{16,66mS} \quad (31)$$

Com este valor da Equação (31), faz-se o cosseno e obtém-se o valor do fator de potência dos sinais digitalizados.

Na Figura 28 tem-se o fluxograma do processo descrito neste item.

Figura 28 - Fluxograma do Fator de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

4.2.2.3 Gravação EEPROM

O KIT fornece uma memória EEPROM de 6 kBytes divididos em 1536 palavras de 32 bits. Com este hardware foi possível gerar um banco de dados que tem a capacidade de armazenar o valor das medições divididas em dias e horas com duração máxima de 3 meses, sendo que o próprio software atualiza os valores e realiza a limpeza da memória quando for necessário.

A cada 20 segundos é realizada a aquisição do valor de potência instantânea trifásica e armazenado em um endereço específico, que no final de uma hora soma-se todos os valores das potências obtidas e realiza-se a média aritmética destas, o qual resultará no valor consumido em kW/h que será gravado em um endereço específico da EEPROM conforme a hora, dia e mês.

O processo de gravação consiste em gravar o valor da potência de cada hora em um endereço da EEPROM conforme valor obtido da leitura da data e hora proveniente do RTC.

Após realizada esta leitura, o algoritmo irá gerar o endereço de memória em que o valor da potência será armazenado.

4.3 INTERFACE WEB

A implementação das rotinas HTML e *JAVASCRIPT* foram desenvolvidas pelo ambiente interativo disponibilizado pelo *software Adobe Dreamweaver*, onde as rotinas HTML foram desenvolvidas para a parte estrutural, a qual tem como característica a divisão do espaço do navegador por tabelas.

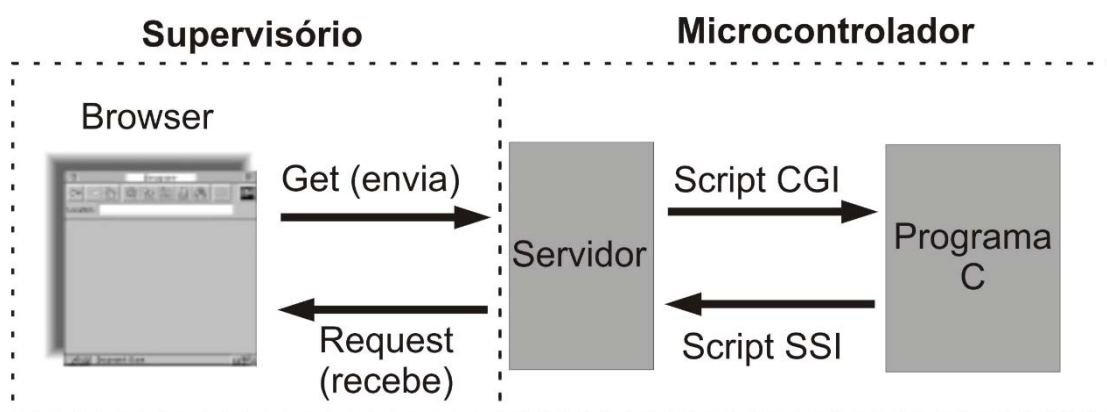
No *JAVASCRIPT* a informação é formada por pacotes de dados que são encaminhados ou recebidos pelo navegador. O servidor *web* necessita de *Scripts CGI (Common Gateway Interface)* e *Scripts SSI (Server Side Includes)*, os quais são usados por sites que necessitam interações dinâmicas com usuários.

Os *Scripts SSI* e *CGI* são responsáveis neste projeto para a interface dos programas em C do microcontrolador com a linguagem *JAVASCRIPT* do servidor *web*. (W3SCHOOLS, 2017).

O CGI é usado para o envio de dados, onde nos formulários HTML utiliza-se com a diretiva *GET* na rotina em *JAVASCRIPT* o qual obtém os dados pela URL e envia os comandos para o microcontrolador. Para o SSI, os dados são recebidos pela URL e apresentados nos formulários *HTML*, neste é usada a diretiva *REQUEST*, efetuando a varredura das variáveis do código pelas rotinas *JAVASCRIPT*.

Na Figura 29 pode ser observado o fluxo de dados entre o microcontrolador (linguagem C) e o servidor *web* (*JAVASCRIPT*).

Figura 29 - Representação do tráfego de dados entre Supervisor e Medidor.



Fonte: Próprio Autor.

5 RESULTADOS

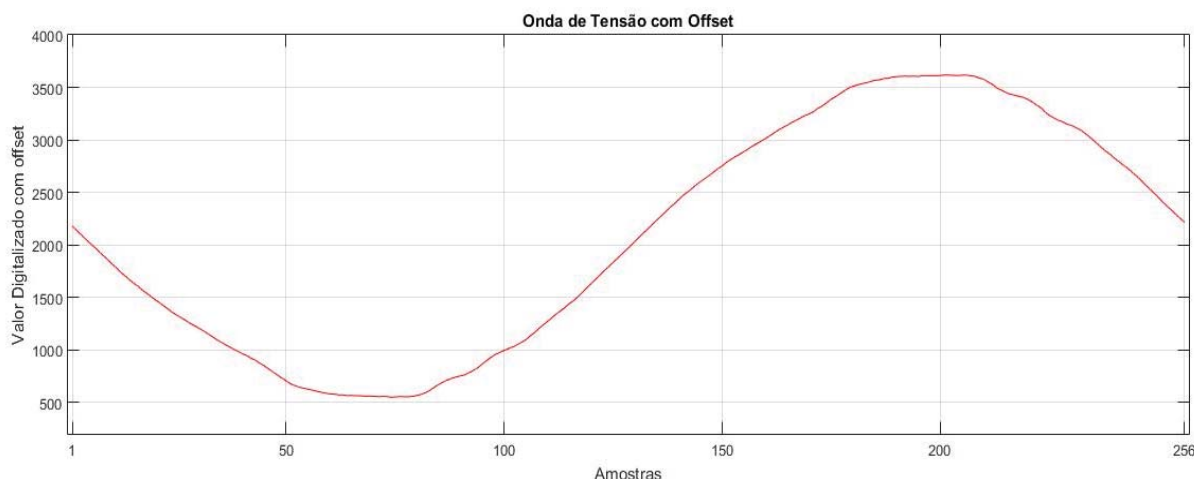
Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo. Os circuitos elétricos que não estão relatados no texto podem ser encontrados no Apêndice A.

5.1 DIGITALIZAÇÃO DO SINAL ANALÓGICO

Vários testes foram realizados para verificar o correto funcionamento dos blocos ADC, sendo que para o correto funcionamento, foi de extrema importância verificar se as 256 amostras desejadas são adquiridas nos exatos 16,66ms da onda senoidal de 60 Hz.

Desta forma, foi conectado o ADC à rede elétrica de 220V e frequência de 60Hz, obtido as 256 amostras desejadas e plotada a forma de onda no *software Matlab_R2015a*. O resultado é apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Sinal Amostrado de 60Hz obtida com offset.

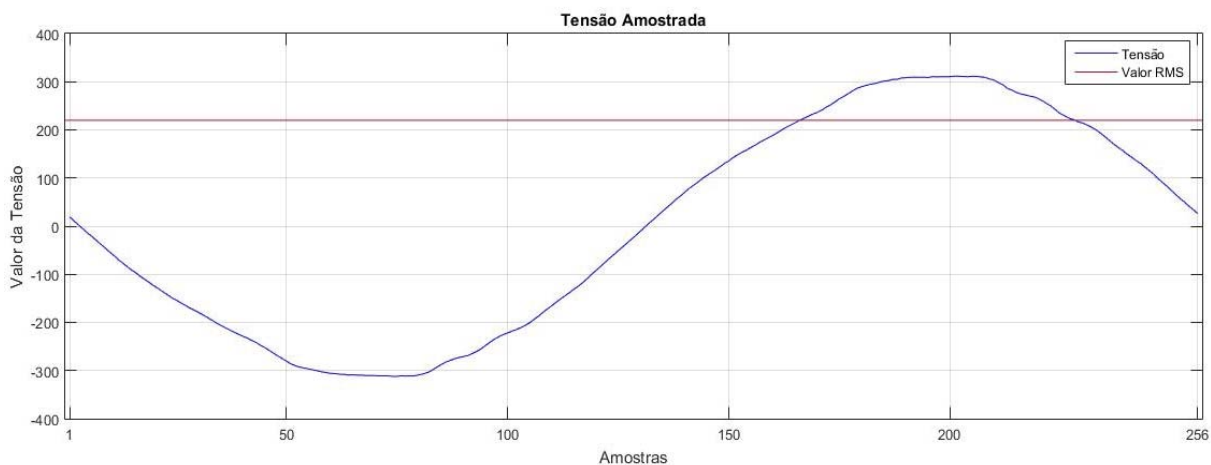


Fonte: Próprio Autor.

Com isso pode-se observar que o funcionamento do ADC está correto, adquirindo um único ciclo por completo da onda senoidal.

A Figura 30 demonstra a onda puramente digitalizada, sem ter seus valores afetados pelo algoritmo microcontrolador, para que possamos efetuar o cálculo RMS demonstrado pelo fluxograma da Figura 27, temos que realizar alguns tratamentos nestes valores, sendo eles a diminuição do *offset* e a divisão pelo ganho. A Figura 31 apresenta a forma de onda já com estas alterações, juntamente com seu valor RMS obtido pelo algoritmo do *firmware*.

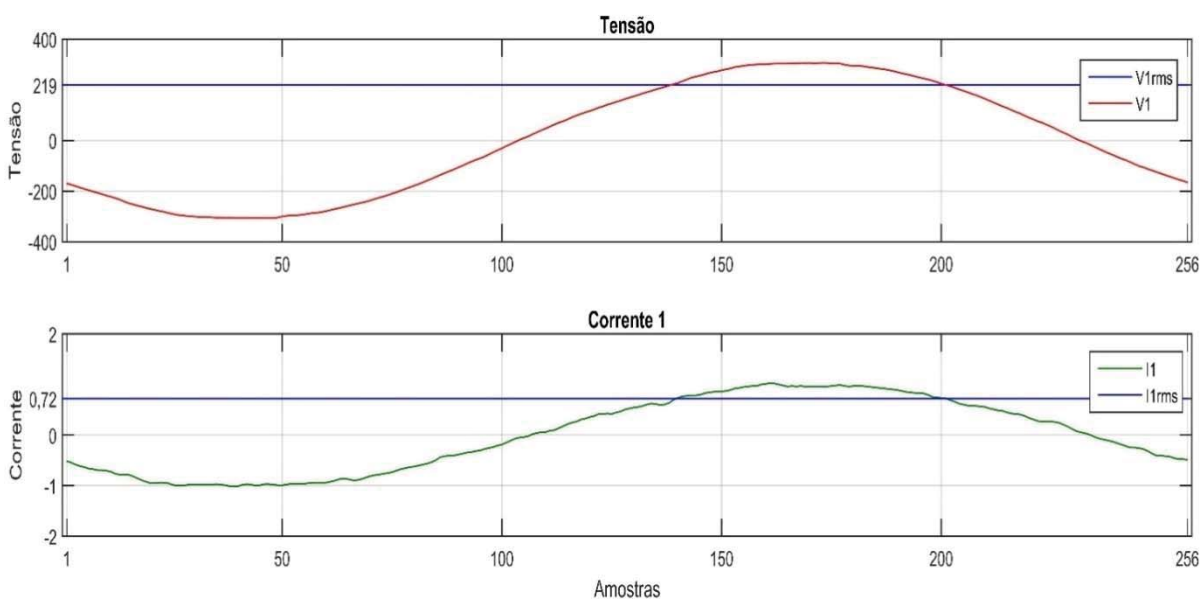
Figura 31 - Sinal de Tensão tratado.



Fonte: Próprio Autor.

Para verificar se as ondas de tensão e corrente estavam em fase, foi utilizado uma carga resistiva de uma lâmpada incandescente de 160W, foram digitalizados os sinais da mesma fase e gerado os gráficos conforme Figura 32.

Figura 32 - Sinais de Tensão e Corrente com carga resistiva.



Fonte: Próprio Autor.

Isto posto, conclui-se que os dois módulos ADC estão configurados e funcionando corretamente em sincronismo.

5.2 VALIDAÇÕES

Para a aferição e calibração dos valores gerados pelo sistema microcontrolado, foram utilizados os equipamentos disponíveis no núcleo de eletrônica do curso de engenharia elétrica na UPF. Foram geradas inúmeras magnitudes de corrente e tensão e aferidos os canais A/D.

5.2.1 Calibração e Validação das Correntes

Para a calibração da corrente foi utilizado a ponteira de prova da *Agilent 1146A*, onde sua faixa de trabalho é de 1 a 100 ARMS.

Nas validações foi utilizado o alicate wattímetro digital ET-4080 com categoria de instalação III e leitura RMS verdadeiro com capacidade de corrente de até 600A, com uma precisão básica de 1,5%. (MINIPA,2017).

Como a faixa de corrente do alicate ET-4080 é grande e o sinal é muito pequeno comparada ao fundo de escala do alicate, foi realizado um multiplicador de corrente por 10 no amperímetro.

Abaixo segue a Tabela 6, onde são apresentados os valores obtidos pelo alicate e medidos no protótipo medidor, sendo que para os valores do alicate, já foram divididos pelo multiplicador utilizado.

Tabela 6 - Validação das Correntes

ET-4080	I1		ET-4080	I2		ET-4080	I3	
Valor (A)	Valor (A)	Erro (%)	Valor (A)	Valor (A)	Erro (%)	Valor (A)	Valor (A)	Erro (%)
0,28	0,28	0,00%	0,28	0,27	3,57%	0,27	0,27	0,00%
0,82	0,83	1,22%	0,86	0,86	0,00%	1,06	1,05	0,94%
1,11	1,13	1,80%	1,12	1,11	0,89%	1,42	1,38	2,82%
2,04	2,03	0,49%	2,06	2,05	0,49%	2,04	2	1,96%
2,29	2,3	0,44%	2,86	2,84	0,70%	2,71	2,66	1,85%
3,03	3,05	0,66%	3,3	3,29	0,30%	3,22	3,18	1,24%
3,74	3,76	0,53%	3,81	3,8	0,26%	4,24	4,25	0,24%
4,21	4,26	1,19%	4,41	4,46	1,13%	4,94	4,96	0,40%
5,15	5,21	1,17%	5,14	5,1	0,78%	5,07	5,17	1,97%

Fonte: Próprio Autor.

Os valores de correntes utilizados para a validação das três fases são diferentes pelo motivo que foram calibradas as fases individualmente, tendo uma discrepância entre os valores obtidos pelo gerador de corrente utilizado. Outro fator importante de se ressaltar foi a utilização

das duas casas decimais para as aferições devido a ser este o número de casas decimais em que o alicate apresenta.

5.2.2 Calibração e Validação das Tensões

Para a calibração e validação da tensão foi utilizado o multímetro digital FLUKE 115, com fundo de escala de 600V e precisão básica de 1%.

Com o auxílio do *varivolt* encontrado no núcleo de eletrônica da UPF, foram realizadas várias medições de tensão para cada fase e construiu-se a seguinte Tabela 7.

Tabela 7 - Validação das Tensões

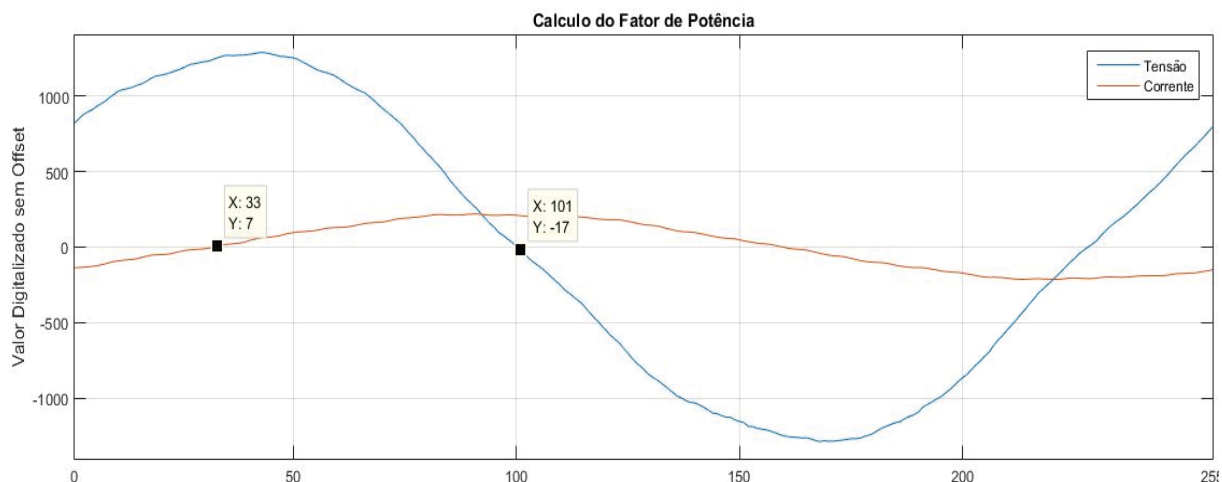
FLUKE 115	V1		V2		V3	
Valor (V)	Valor (V)	Erro (%)	Valor (V)	Erro (%)	Valor (V)	Erro (%)
0,89	1,05	17,98%	1,08	21,35%	1,2	34,83%
10,27	10,7	4,19%	10,25	0,19%	10,63	3,51%
20,41	20,4	0,05%	20,27	0,69%	20,35	0,29%
40,01	39,75	0,65%	39,75	0,65%	39,88	0,32%
60,5	60,39	0,18%	60,34	0,26%	60,48	0,03%
79,3	79	0,38%	79,14	0,20%	79,4	0,13%
100,1	100,1	0,00%	100,02	0,08%	100,5	0,40%
130,1	130,2	0,08%	130,3	0,15%	130,6	0,38%
160,1	160,3	0,12%	160,6	0,31%	160,7	0,37%
190,5	190,3	0,10%	190,6	0,05%	190,7	0,10%
210,2	210,9	0,33%	210,1	0,05%	210,1	0,05%
220,7	220,4	0,14%	220,5	0,09%	220,2	0,23%
230,5	229,8	0,30%	229,4	0,48%	229,4	0,48%
240	240	0,00%	239,7	0,13%	239,5	0,21%

Fonte: Próprio Autor.

5.2.3 Validação Fator de Potência

Para o valor de potência, foi conferida a veracidade do algoritmo adotado pela instalação de TCs em um circuito onde foi acionado apenas um motor elétrico trifásico de 2CV sem carga (a vazio), realizado a leitura do fator de potência e gerado o gráfico das curvas de corrente e tensão da fase A conforme Figura 33 para verificar se o cálculo está de acordo com a amostragem.

Figura 33 - Sinais de tensão e corrente defasados.



Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 33, pode-se observar que a corrente está atrasada em relação a tensão, o qual os valores apresentados no gráfico com a letra X representam o número da amostra, no qual conforme fluxograma da Figura 26 é realizado o cálculo do fator de potência com base na diferença entre elas. Através da Equação (31), podemos calcular o fator de potência com os índices demonstrados nas curvas geradas pelo *MatLab* seguindo a Equação (32).

$$\cos\left(\frac{\Delta\text{indice} \cdot 65\mu\text{S} \cdot 2\pi}{16,66\text{mS}}\right) = 0,102 \quad (32)$$

Sendo o índice 68.

Sendo que o valor obtido pelo medidor foi de 0,10.

Comparando o resultado calculado pelo obtido pelo sistema do medidor obteve-se um erro de 1,96%.

Para aferição do fator de potência em um sistema operante em um meio fabril, foi instalado o medidor em um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) o qual conta com medidor de demanda da fabricante ACS modelo CE8012 instalado em seu ramal alimentador para a fábrica.

Na Figura 34, onde pode-se observar o valor de leitura do fator de potência do medidor ACS, número 1 e o valor do fator de potência encontrado pelo protótipo medidor número 2.

Figura 34 - Comparação Fator de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

Na Tabela 8 podemos observar os valores e o erro obtido.

Tabela 8 - Comparação de Fatores de Potência obtidos.

ACS	MEDIDOR	ERRO (%)
0,814	0,800	1,72%

Fonte: Próprio Autor.

5.3 SUPERVISÓRIO VIA WEB

Para a visualização e supervisão o usuário deve acessar o ambiente servidor *web* através de um navegador de sua preferência, inserir o IP adquirido apresentado no *display* do medidor. Sendo que uma vez que o medidor é conectado à rede, ele irá receber um IP o qual se manterá constante, facilitando assim a comunicação caso a rede apresentar falha, a Figura 35 apresenta o procedimento de inserção de IP no navegador *web*.

Figura 35 – Acesso ao Medidor.

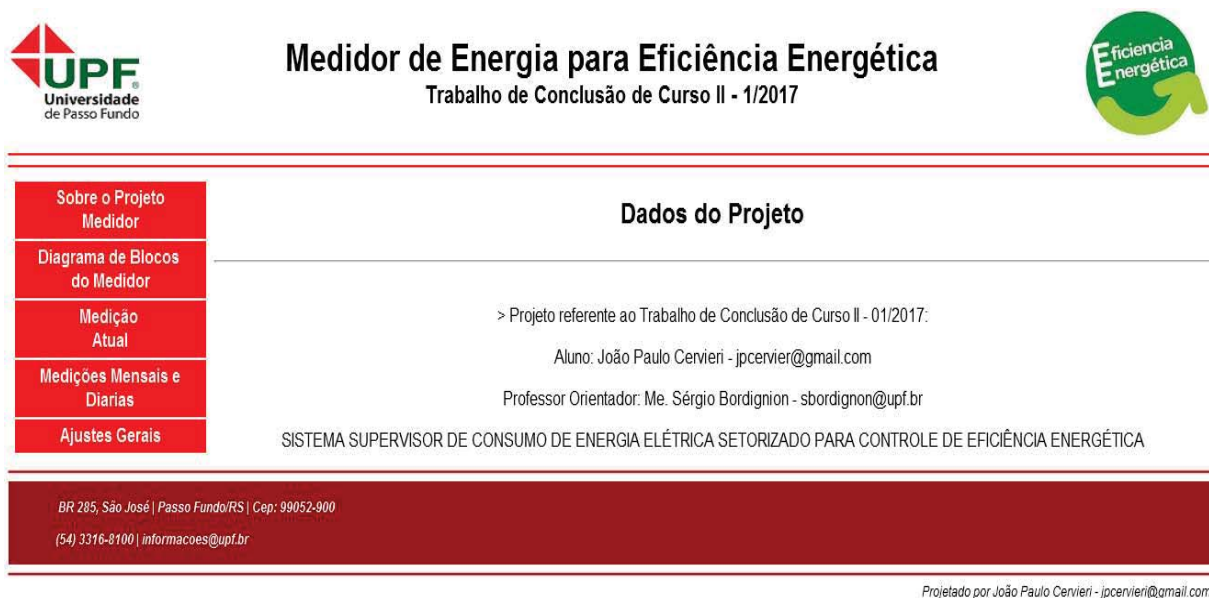


Fonte: Próprio Autor.

Depois de estabelecida a conexão, o usuário será automaticamente redimensionado para a página inicial a qual apresenta os dados referentes ao projeto juntamente com um menu no

canto esquerdo o qual possibilita a navegação entre as páginas desenvolvidas, como pode-se observar na Figura 36.

Figura 36 - Pagina Inicial do Supervisorio.



UPF
Universidade
de Passo Fundo

Medidor de Energia para Eficiência Energética
Trabalho de Conclusão de Curso II - 1/2017

Eficiência Energética

Sobre o Projeto Medidor

Diagrama de Blocos do Medidor

Medição Atual

Medições Mensais e Diárias

Ajustes Gerais

Dados do Projeto

> Projeto referente ao Trabalho de Conclusão de Curso II - 01/2017:

Aluno: João Paulo Cervieri - jpcervieri@gmail.com

Professor Orientador: Me. Sérgio Bordignon - sbordignon@upf.br

SISTEMA SUPERVISOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA SETORIZADO PARA CONTROLE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

BR 285, São José | Passo Fundo/RS | Cep: 99052-900
(54) 3316-8100 | informacoes@upf.br

Projetado por João Paulo Cervieri - jpcervieri@gmail.com

Fonte: Próprio Autor.

O ícone Diagrama de Blocos do Medidor redireciona o usuário ao diagrama de blocos do sistema apresentado anteriormente na Figura 14.

Clicando no ícone Medições Atuais leva a página das últimas medições de tensão e corrente realizadas, sendo que essas são realizadas a cada 10 segundos.

Na Figura 37 relacionada à página de medições atuais.

Figura 37 - Página das Medições Atuais.

Medidas Atuais		
Tensões	Correntes	Potências
Fase A:	Fase A:	Fase A:
221.0 V	103.7 A	18433 W
Fase B:	Fase B:	Fase B:
222.4 V	121.7 A	21773 W
Fase C:	Fase C:	Fase C:
220.8 V	120.7 A	21431 W
		Fator de Potência:
		0.80

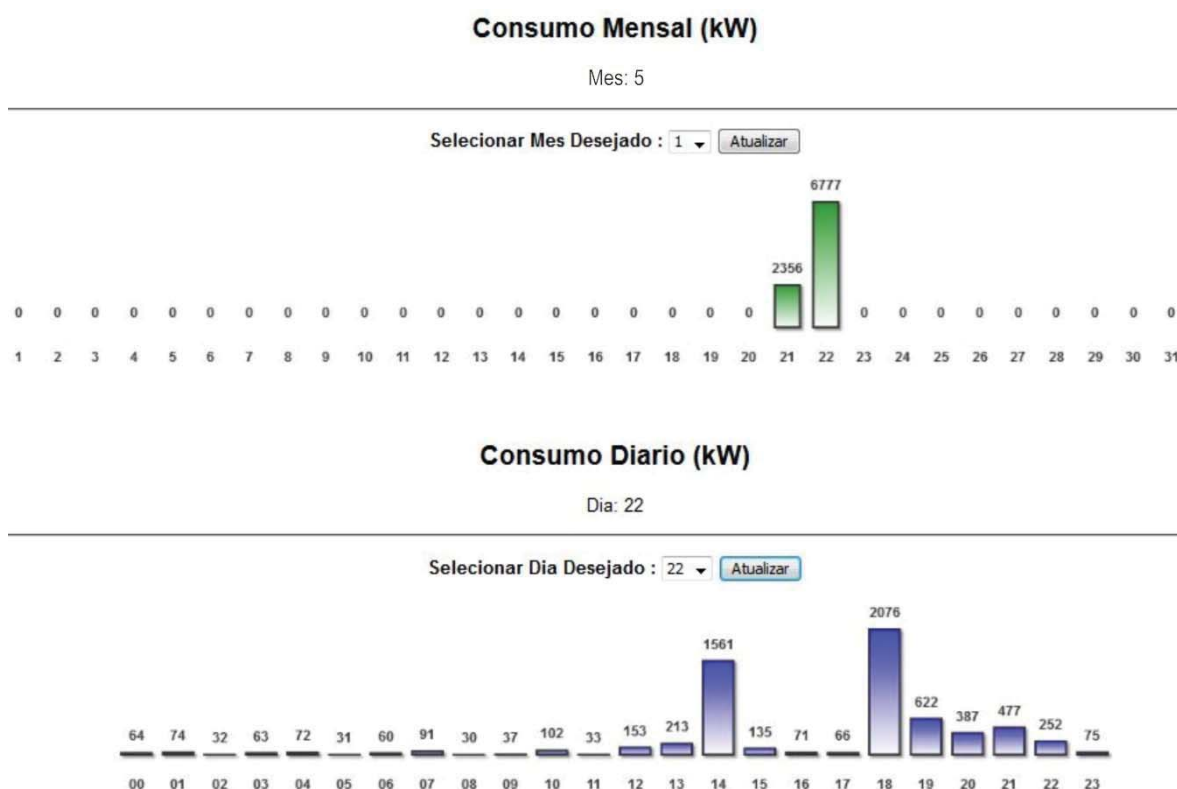
Fonte: Próprio Autor.

No ícone referente a Medições Mensais e Diárias o usuário é direcionado para a página onde as potências são apresentadas conforme selecionado, primeiramente é necessário a escolha do mês a ser analisado, sendo apresentada a opção de escolha em 3 buffers, feito a escolha do mês, o supervisor realizará uma requisição ao medidor o qual retornará com os valores dos consumos diários do mês armazenado naquele buffer.

Se o usuário quiser analisar o consumo em um dia específico do mês selecionado anteriormente, deverá selecionar o dia desejado, o qual apresentará no segundo gráfico o consumo horário do dia selecionado.

A Figura 38 apresenta a página de Medições Mensais e Diárias.

Figura 38 - Pagina de Medições Mensais e Diárias.



Fonte: Próprio Autor.

A Figura 38 apresenta o consumo de um apartamento de duas pessoas onde o medidor foi instalado para testes, sendo neste caso apenas utilizado a medição monofásica conforme alimentação do apartamento. Pode-se observar que os picos de consumo dão-se quando houve a utilização do chuveiro elétrico no apartamento.

Para o último ícone do supervisor, Ajustes Gerais, redimensiona para a página que é responsável pela configuração do sistema, onde é possível ajustar o relógio interno do medidor,

relação de transformação de corrente conforme os TCs utilizados, seleção para armazenar os dados em watts ou quilowatts e por final um botão de reset geral, o qual é responsável pelo reset do sistema, apagando todas as configurações realizadas anteriormente juntamente com as memórias armazenadas na EEPROM, sendo este necessário na primeira instalação do medidor.

A Figura 39 apresenta a página de Ajustes Gerais.

Figura 39 - Página de Ajustes Gerais.

Ajustes Gerais

Relógio Interno do Medidor		
Hora:	<input type="text"/>	Envia Dados
Minuto:	<input type="text"/>	
Dia:	<input type="text"/>	
Mes:	<input type="text"/>	
Ano:	<input type="text"/>	
Dia da Semana	<input type="text"/>	
Relação do TC = I1/I2, I2=5A		
Relação do TC	<input type="text"/>	Envia RTC

Selecionar unidade de Medida : kWatts ↕ Atualizar

Reset Geral

Obs: Apenas resetar após alguma alteração de configuração e/ou no start up.

Fonte: Próprio Autor.

5.4 DISPLAY LCD

Foi optado pela utilização do *display* para que se possa ter a apresentação do IP adquirido da rede, para isto foi utilizada a primeira linha do display, já as outras linhas foram utilizadas para a visualização das medições, sendo elas atualizadas automaticamente a cada 10 segundos. Abaixo na Figura 40, tem-se a representação da tela apresentada pelo *display*, onde os valores são meramente ilustrativos e aleatórios para demonstração da disposição das variáveis.

Figura 40 - Display LCD.



Fonte: Próprio Autor.

5.5 INSTALAÇÃO A CAMPO

Para testar o medidor, foi instalado o mesmo em um painel elétrico responsável pela alimentação e comando de 5 túneis de cozimento de mortadela e presunto, o qual devido a seu processo de cozimento contínuo, funciona 24h por dia, sendo desligado apenas nos finais de semana onde são realizadas as manutenções necessárias.

O funcionamento básico do sistema dos túneis é dividido em cinco etapas, onde as três primeiras são responsáveis pelo cozimento, tendo cada etapa uma temperatura específica. As outras duas etapas são responsáveis pelo resfriamento do produto, o qual o processo completo demora em torno de 23 horas.

No processo são cozidas aproximadamente 180 toneladas de produto por dia proveniente do funcionamento dos 5 túneis em paralelo.

Abaixo segue a Tabela 9 com as principais cargas do quadro onde foram desconsiderados os consumos com comando e sinalização.

Tabela 9 - Quadro de Cargas do quadro analisado.

DESCRIÇÃO	QNT.	POT.
Ventiladores	24	3 CV
Bombas d'água	8	25 CV
Hidráulica	2	5 CV
Iluminação	16	400 W
Bobina para válvulas	12	11 W

Fonte: Próprio Autor.

Para as cargas descritas na Tabela 9, os ventiladores e bombas d'água ficam ligados basicamente o tempo todo, sendo a temperatura controlada através de válvulas interrompendo ou permitindo a passagem de vapor para cozimento e gás refrigerante para resfriamento da água. Quanto à parte hidráulica é utilizada para movimentação do produto no interior do túnel.

Na entrada geral de energia do painel elétrico, estão instalados os TCs de medição que atualmente estão ligados a um amperímetro desativado, onde as características destes TCs seguem na Tabela 10.

Tabela 10 - Especificação do TC.

IP(A)	IS(A)	RTC	FRQ(HZ)	V (V)	EXATIDÃO	SOBRECARGA	FABRICANTE
200	5	40	50/60	600	0,60%	1,2xIp	Siemens

Fonte: Próprio Autor.

Quanto para os sinais de tensão foram obtidos após a chave geral do quadro, o qual é um disjuntor em caixa moldada de 200A da fabricante Siemens.

Para análise e verificação da utilidade do medidor, foi instalado e deixado o mesmo registrando pelo período de cinco dias completos e um parcialmente, o qual foi o dia da retirada do aparelho. Foi optado pela instalação em um período que incorporasse um final de semana para que se obtivesse a variação do consumo de energia quando os túneis não estivessem em seu pleno funcionamento.

Abaixo se tem a Figura 41 que apresenta o consumo dos dias em que foi instalado o medidor.

Figura 41 - Consumo Mensal do painel analisado.

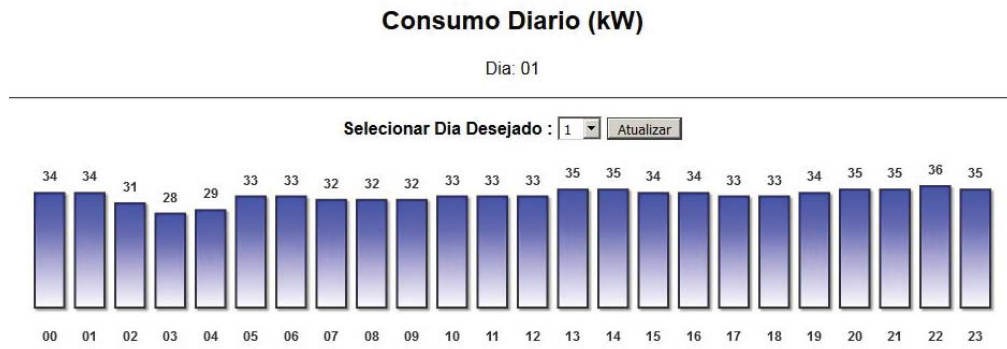


Fonte Próprio Autor.

Observando a Figura 41, pode-se notar os dias de produção normal, os quais são os dias 1 e 2, já para o dia 3 nota-se uma diminuição do consumo, o qual era esperado pois é referente ao sábado, dia em que a produção é realizada até que acabe o produto do dia anterior.

No 4º dia, referente ao domingo, tem-se o consumo basicamente do processo de manutenção, retomando a produção na segunda-feira, dia 5. Abaixo pode-se observar os consumos detalhados nos dias, sendo que na Figura 42 apresenta o consumo do dia 1, Figura 43 apresenta o consumo do dia 3 e a Figura 44 o consumo do dia 5.

Figura 42 - Consumo do dia 1.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 43- Consumo do dia 3.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 44 - Consumo do dia 5.



Fonte: Próprio Autor.

6 CONCLUSÃO

O projeto conseguiu atingir os objetivos propostos inicialmente, desenvolvendo um protótipo que realiza as medições do consumo de energia elétrica ativa de uma máquina ou linha de produção, enviando estes dados a um computador, organizando-os de forma amigável e possibilitando a exportação das imagens dos gráficos para armazenamento dos dados.

Outro objetivo proposto foi de que o protótipo pudesse ser conectado em rede com quantos módulos de medições fossem necessários para a melhor avaliação da planta fabril, o qual foi atingido pela utilização do protocolo de comunicação TCP/IP e supervísório através de um navegador *web*, esta estrutura suporta quantos módulos forem necessários para um detalhamento do consumo, apenas fazendo-se necessário a informação do IP de cada medidor para acessá-lo sem necessidade de instalação de *software* adicional.

No decorrer do projeto surgiram várias dificuldades e problemas que foram resolvidos, os quais resultaram em um conhecimento mais detalhado das limitações das tecnologias envolvidas.

A maior dificuldade encontrada foi no desenvolvimento do *firmware*, sendo necessário o estudo de linguagens de programação que não eram conhecidas, junto com a estrutura de transferência de dados entre o supervísório e o microcontrolador.

Com base nos dados apresentados no capítulo 5, nota-se que o medidor pode ser utilizado não apenas no ramo industrial, mas também em residências que tem seu consumo elevado, levando-os a necessidade de analisar detalhadamente quais são seus horários de pico de consumo para que possam fazer uma investigação e achar os principais causadores deste problema.

Notou-se também quando houve a instalação do dispositivo a campo, que a maioria dos painéis responsáveis pela alimentação e comando de máquinas no processo industrial possuem TCs instalados os quais facilitam a instalação do medidor, com esta versatilidade, observou-se que o mesmo pode ser utilizado não apenas como um medidor fixo em uma única máquina ou linha de produção, mas sim o mesmo medidor pode ser instalado em várias linhas ou máquinas por diferentes períodos de tempo.

Para projetos futuros recomenda-se o aumento da autonomia de armazenamento dos dados, incluindo o armazenamento de tensões e correntes críticas do período armazenado e geração de um relatório no formato de texto, não apenas a possibilidade de salvar o gráfico obtido. Para os condicionadores de sinal recomenda-se a utilização de melhores amplificadores operacionais com menor sensibilidade a ruído, como se pode observar nas informações contidas

nas tabelas do capítulo 5, onde há uma variação do erro relativo, mesmo sendo esta variação baixa. Ainda mais, para projetos futuros pode ser desenvolvido um medidor para incorporar a possibilidade de medição em frequências de 50 Hz.

Também recomenda-se o cálculo da distorção harmônica da rede para além de um controle do consumo de potência elétrica, haja um acompanhamento da qualidade de energia da rede elétrica.

REFERÊNCIAS

ABB. **ANR-LAN:** Communication Protocol MODBUS-TCP. Disponível em:
<<https://library.e.abb.com/public/b7cfeaae6eb0c03cc1257a4f002a5118/2CSG445026D0201%20-%20ANR-LAN%20Modbus%20TCP%20Protocol.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2016.

ARM.**Cortex-M Series Family.** Disponível em:
<<https://www.arm.com/products/processors/cortex-m>>. Acesso em: 08 out. 2016.

ANTONIO, Marco. **Apostila de:** Programação de microcontroladores PIC usando linguagem C. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Vitória, 2006.

BORGES, Fatima. **Redes de Comunicação Industrial.** Documento Técnico Número 2, Schneider Electric. Disponível em:
<http://www.schneiderelectric.pt/documents/product-services/training/doctecnico_redes.pdf>. Acesso em: 05 out. 2016.

DA SILVA, Vidal Pereira Jr. **Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051.** 9.ed. São Paulo: Érica Ltda, 2000.

EPE. **Balanco Energético Nacional.** Disponível em:
<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

ETC1. **JHD2014A DataSheet.** Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/132627/ETC1/JHD204A.html>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

IAR EMBEDDED WORKBENCH. IAR Systems. **IAR Embedded Workbench**, 2015. Disponível em: <<https://www.iar.com/support/#?tab=resources>>.

INSTRUMENTS, Texas. **Tiva™ C Series TM4C1294 Connected LaunchPad Evaluation Kit.** Disponível em: < <http://www.ti.com/lit/ug/spmu365c/spmu365c.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017

INTEGRATED, Maxin. **DS1307 64 X 8, Serial, I2C Real-Time Clock**. Disponível em: <<http://www.datasheetspdf.com/PDF/DS1307/925278/1>>. Acesso em: 15 abr. 2017

JOHNSON, David E. *et al.* **Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil, 1994.

JURIZATO, Luís Augusto; PEREIRA, Paulo Sérgio R. **Sistemas Supervisórios**. Disponível em: <<http://centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>>. Acesso: 05 out. 2016.

LABCENTER. **Labcenter Eletronics**. Disponível em: <http://www.labcenter.com/products/pcb/pcb_intro.cfm>. Acesso em: 14 mai. 2017.

KAUFMAN, Phil. **DrivingManufacturing Competitiveness Through Enery Awareness**. Disponível em: <Http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/energy-wp002_-en-p.pdf>. Acesso em: 09 out. 2016.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MINIPA. **Manual/ET-4080-1100-BR**. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-4080-1100-BR.pdf>>. Acesso em: 01jun. 2017.

NI. **Medição de Corrente: Guia Prático**. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/7114/pt/>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

NILSSON, James W; RIEDEL, Susan A. **Circuitos Elétricos**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PANESI, André R. Quinteros. **Fundamentos de Eficiência Energética: Industrial, Comercial e Residencial**. Rio de Janeiro: Ensino Profissional, 2006.

PROFIBUS. **Pi_Profinet_System_Description_Brazil**. Disponível em:

<<http://www.profibus.com/nc/download/technical-descriptions-books/downloads/profinet-technology-and-application-system-description/display/>> Acesso em: 05 out. 2016.

SIEMON. **Ethernet/IP**. Disponível em: <<https://www.siemon.com/br/whitepapers/ethernet-ip.asp>>. Acesso em: 06 out 2016.

ROSARIO, João Mauricio. **Automação Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

SIEMENS. **Transformadores de Corrente**. Disponível em:

<<Http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/dispositivos-baixa-tensao/transformadores/transformadores-de-corrente/pages/transformador-de-corrente.aspx>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

SMAR. **Líder em Automação Industrial. O que é Profibus?**. Disponível em:

<<Http://www.smar.com/brasil/profibus.asp>>. Acesso em: 05 out. 2016.

WEINMAN, L.; WEINMAN, W. **Creative HTML Design**. Indianapolis: New Riders, 1998.

W3SCHOOLS. W3schools. **The world's largest web developer site**. Disponível em:

<<http://www.w3schools.com/>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

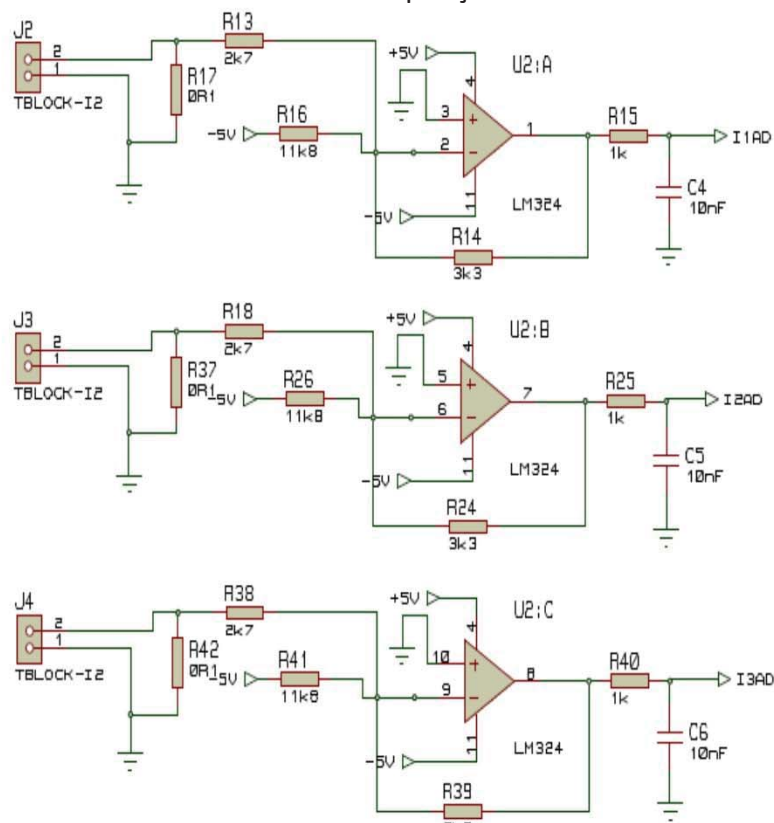
THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro B. U. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2011.

TOULSON, R.; WILMSHURST, T. *Fast and effective embedded systems Design: Applying the ARM mbed.*. 2. ed. Newnes Digital, 2016.

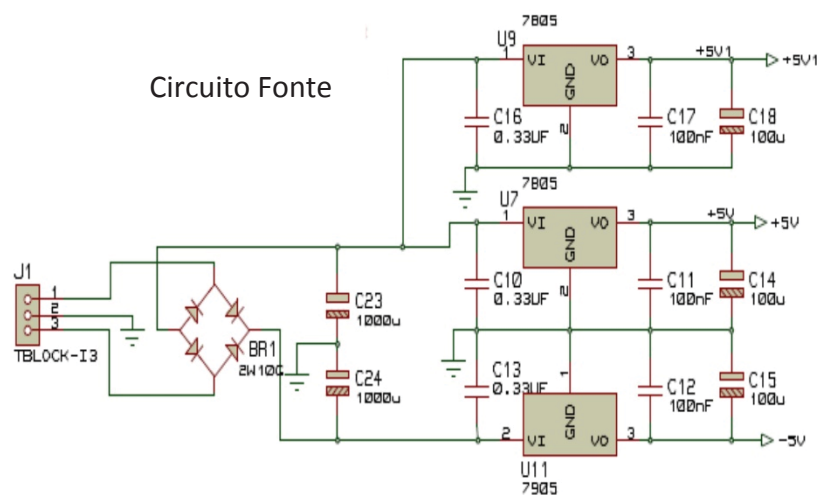
APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO DOS CIRCUITOS DESENVOLVIDOS

Figura 45 - Esquema de Ligação 1.

Circuito Aquisição de Corrente

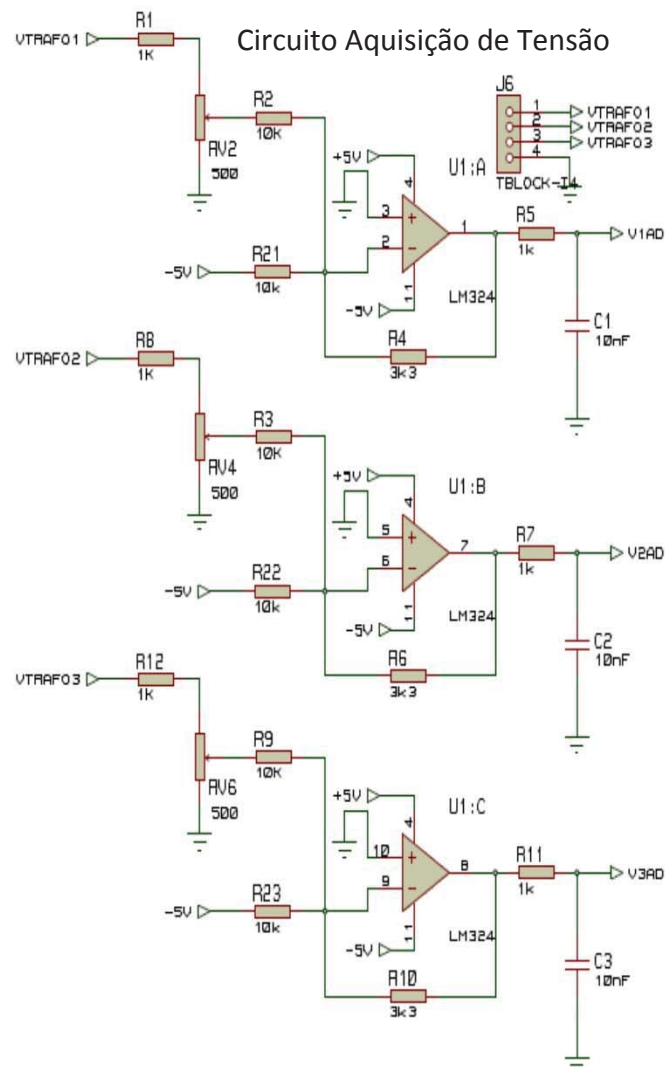


Circuito Fonte



Fonte: Próprio Autor.

Circuito Aquisição de Tensão



Circuito RTC

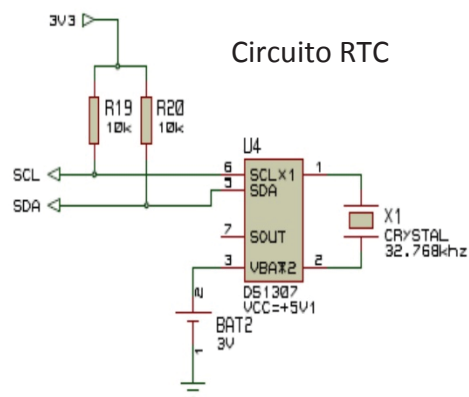
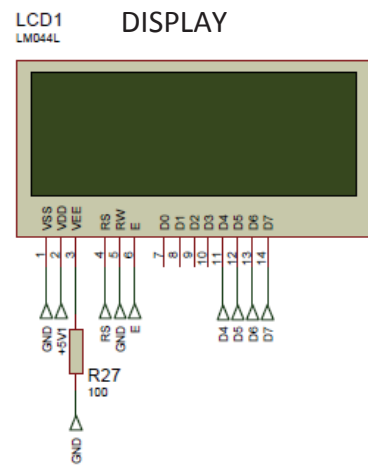
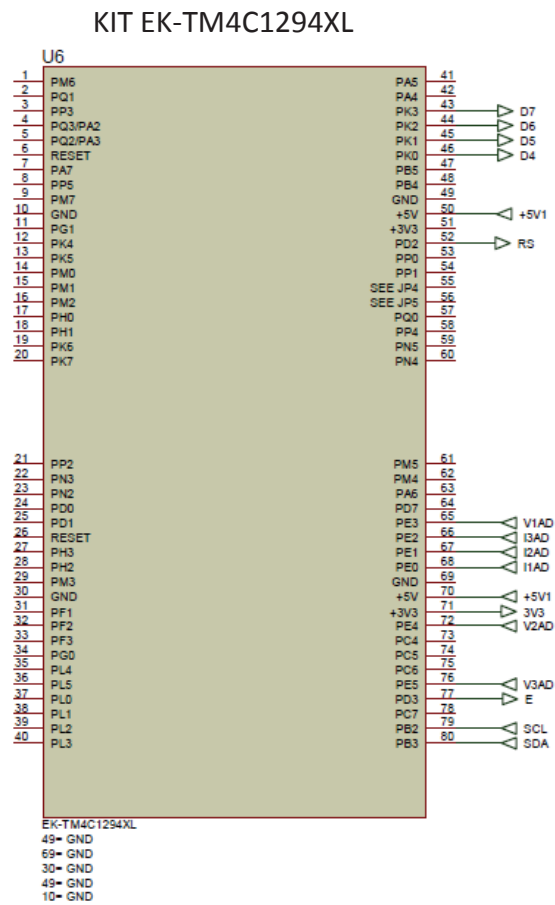


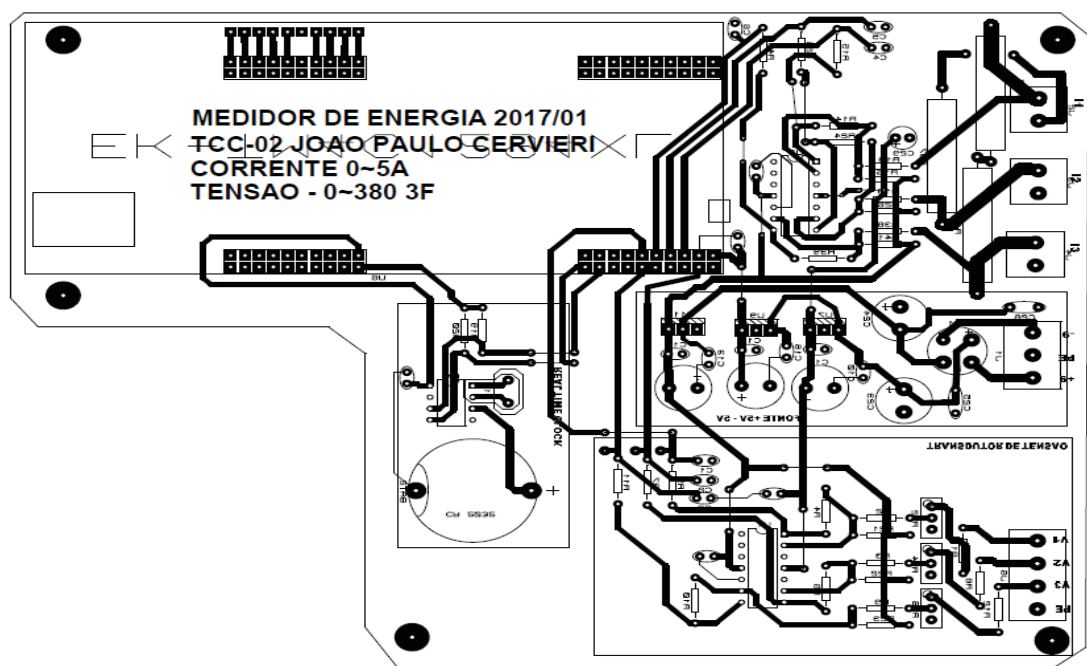
Figura 46 - Esquema de Ligação 2.



Fonte: Próprio Autor.

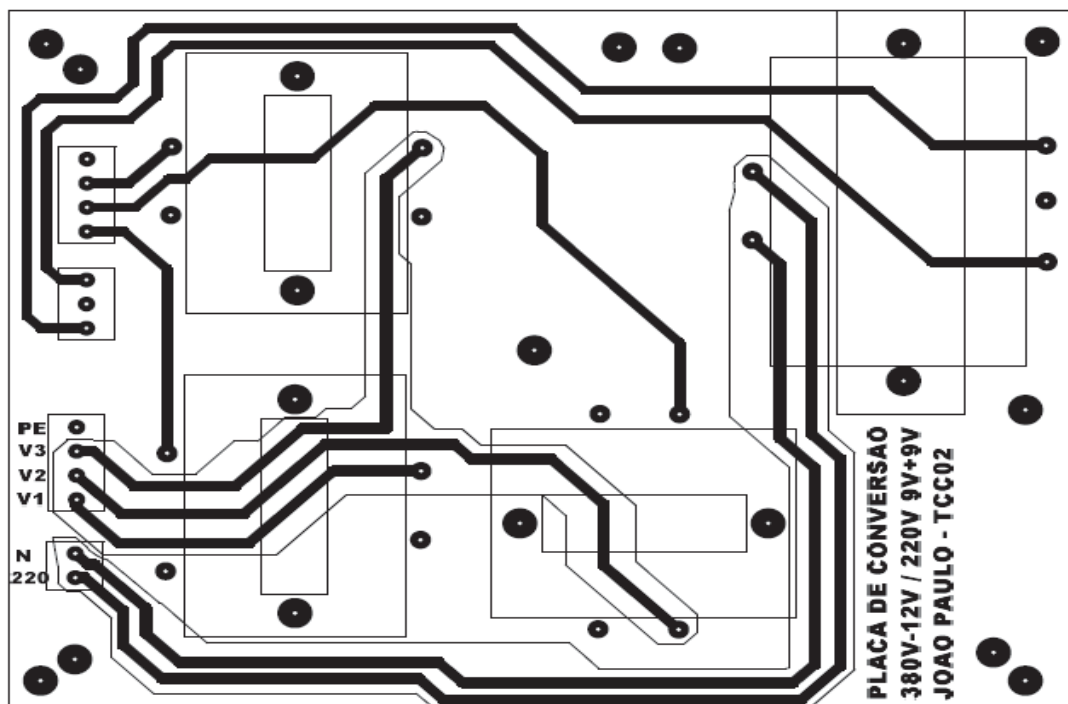
APÊNDICE B – LAYOUT DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Figura 47 - Layout Placa de Comando.



Fonte: Próprio Autor.

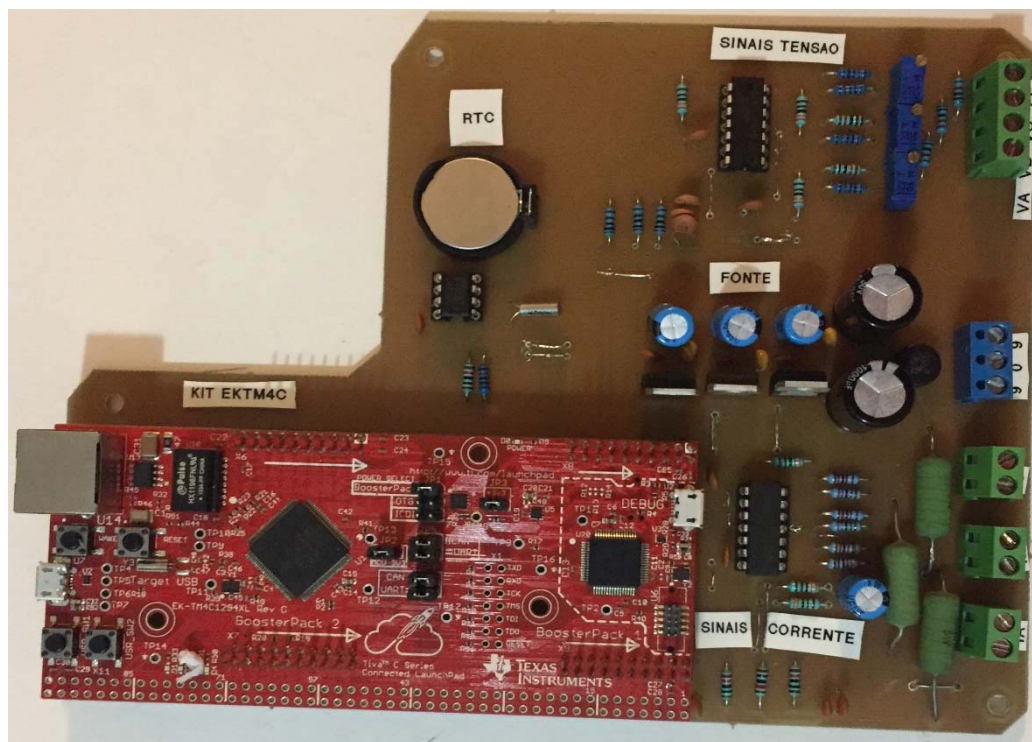
Figura 48 - Layout Placa de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

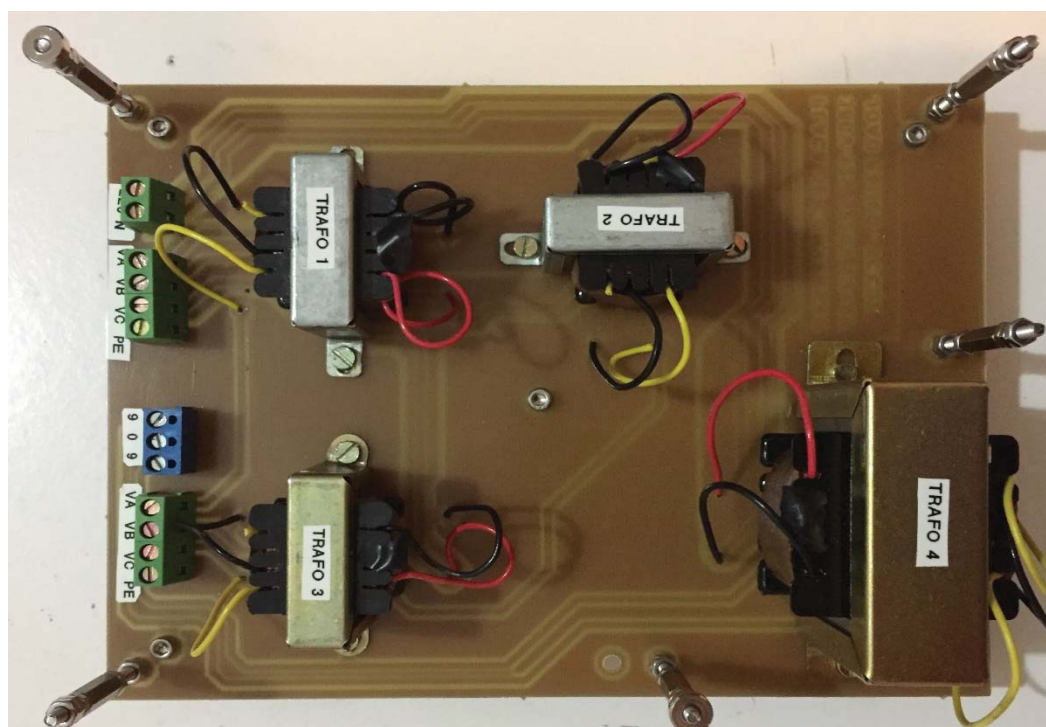
APÊNDICE C – MONTAGEM DO MEDIDOR

Figura 49 - Placa de Comando Montada.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 50 - Placa de Potência Montada.



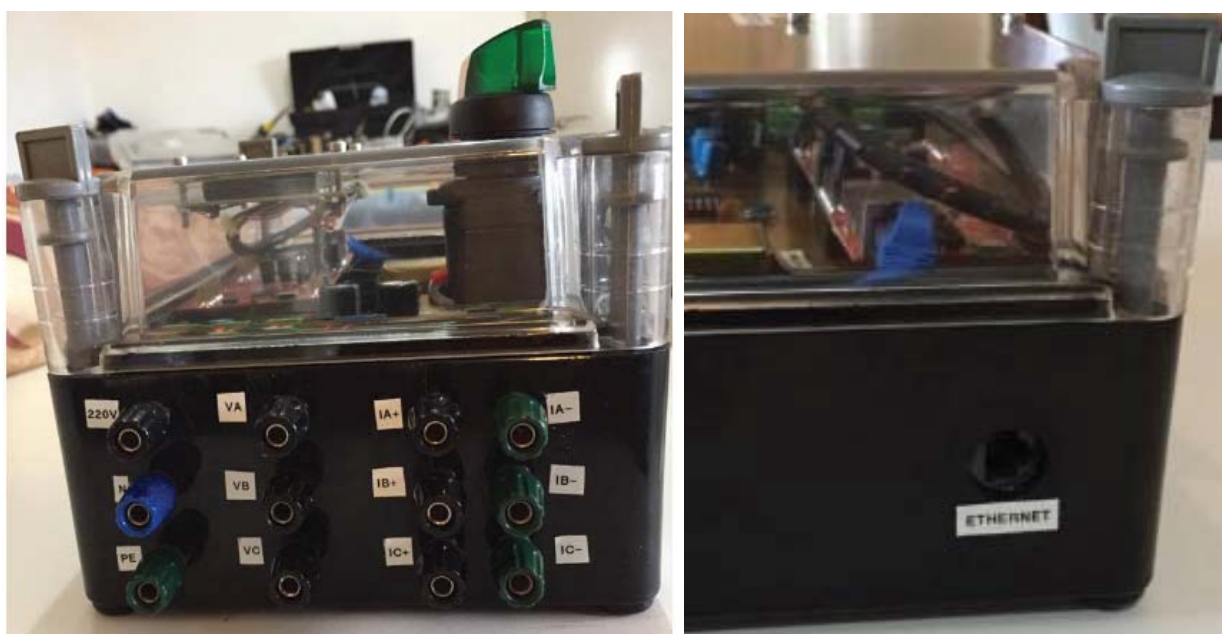
Fonte: Próprio Autor.

Figura 51 - Medidor Montado.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 52 – Conexões do Medidor.



Fonte: Próprio Autor.