

Desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para monitoramento de consumo de energia elétrica em equipamentos industriais de baixa potência

Luan Messias Santos Silva

Graduando em Sistemas de Informação

Dorival Moreira Machado Júnior

Doutor em Tecnologias da Inteligência e Design Digital

RESUMO

O alto consumo de energia elétrica, principalmente, no setor produtivo nacional acarreta em elevações severas e constantes na fatura mensal de energia devido às crises energéticas hídricas. Neste contexto o trabalho tem por objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo para monitoramento de consumo de energia elétrica em equipamentos industriais de baixa potência. O método adotado para a realização do trabalho foi a experimentação prática, através do desenvolvimento de um protótipo medidor de energia com a integração de um Sistema Web desenvolvido na linguagem PHP e um Sensor de tensão de corrente baseada na tecnologia Arduino. Sendo assim, sensores de corrente e de tensão verificam o consumo em tempo real, através do processamento e envio de dados para o sistema web que auxiliará no controle realizado pelos gestores que poderão acompanhar o consumo de energia elétrica do setor industrial em tempo real, por meio de relatórios diários e análises da média de consumo de energia. Este trabalho justifica-se pois o monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica ajudará a gestão, a tomar decisões assertivas quanto a economia de gasto energético contribuindo assim com menor impacto econômico dentro do setor industrial.

Palavras – chave: Monitoramento, Telemetria, Eficiência Energética.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da última década, o Brasil experimentou um constante crescimento econômico e a geração de energia é uma das premissas para alavancar o desenvolvimento social e econômico de um país. No Brasil 80% do processo de obtenção energética provém da hidroeletricidade (RAMOS; ANDRADE, 2015).

Contudo, o alto consumo de energia elétrica, principalmente, no setor produtivo nacional acarreta em elevações severas e constantes na sua fatura mensal de energia devido às crises energéticas e hídricas (RAMOS; ANDRADE, 2015). Neste contexto se faz importante o desenvolvimento de um sistema que auxilie no gerenciamento de perdas, pois a gestão dos custos é indispensável para o sucesso das empresas em seus empreendimentos. Em detrimento de tais considerações, verificou-se o seguinte problema de pesquisa: Como monitorar o gasto energético de equipamentos de uma empresa industrial?

Para responder o problema de pesquisa, tem-se como objetivo geral desenvolver um dispositivo que faça a medição do consumo de energia elétrica em tempo real das máquinas e equipamentos industriais, com sistema web para monitoramento energético em uma empresa industrial.

Para alcançar o objetivo geral, identificou-se os seguintes objetivos específicos: a) levantar os materiais necessários para a criação do protótipo; b) criar o protótipo Arduino; c) programar a placa do Arduino para a medição; d) testar o protótipo em relação a medição e a comunicação software e Arduino e) desenvolver o sistema web para emissão de relatório armazenagem de dados.

O trabalho proposto justifica-se, pois, auxiliará os gestores no controle de gastos de energia no setor industrial, bem como a utilização racional da mesma, minimizando as perdas e conseqüentemente diminuindo o impacto ambiental e econômico (RAMOS; ANDRADE, 2015), uma vez que o Brasil vem enfrentando crises no setor de energia e isso acarreta em dificuldades econômicas

O consumo de energia elétrica no país em 2018 aumentou 1,1% no ano passado, totalizando 467.161 gigawatts/hora (GWh). Os dados fazem parte da Resenha Mensal – Consumo de Energia Elétrica, de dezembro pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA

Analisando dados do Balanço Energético Nacional, energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 588,0 TWh em 2017, resultado 1,6% superior ao de 2016. As centrais elétricas de serviço público, participaram com 83,5% da geração total. A geração hídrica, principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil, teve sua participação reduzida em 2,6% na comparação com o ano anterior. A geração elétrica a partir de não renováveis representou 20,8% do total nacional, contra 9,6% em 2016. A geração de autoprodutores (APE) em 2017 participou com 16,5% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 96,8 TWh. Desse total, 55,4 TWh não foram injetados na rede, ou seja, produzidos e consumidos pela própria instalação geradora, usualmente denominada como APE clássica. (BEN, 2018).

A autoprodução clássica agrega as mais diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, a exemplo dos setores de Papel e Celulose, Siderurgia, Açúcar e Álcool, Química, entre outros, além do Setor Energético. Neste último, destacam-se os segmentos de exploração, refino e produção de petróleo. (BEN, 2018).

Importações líquidas de 36,4 TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 624,3 TWh, montante 0,7% superior a 2016. O consumo final foi de 526,2 TWh, representando uma expansão de 1,2% em comparação com 2016.

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS

O estudo desenvolvido por João Luis Grizinsky de Brito (2016) expõe um sistema que monitoriza o consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo com a utilização da tecnologia Arduino, esse dispositivo tem a seguinte proposta, de complementar novos meios de economia de energia elétrica oferecidas ao consumidor. A composição tem base no sistema de tecnologia Arduino no qual sensores de corrente e de tensão buscam verificar o consumo em tempo real de energia em uma residência ou estabelecimento e, enviando e processando dados, para um computador, a relevância principal enseja que o monitoramento em tempo real seja de forma simples, conscientizando a respeito da necessidade de economia de energia no cotidiano de cada pessoa, o custo do projeto foi de R\$ 245,29.

2.3 TRABALHOS COLETADOS NO MERCADO ATUAL (SET 2020):

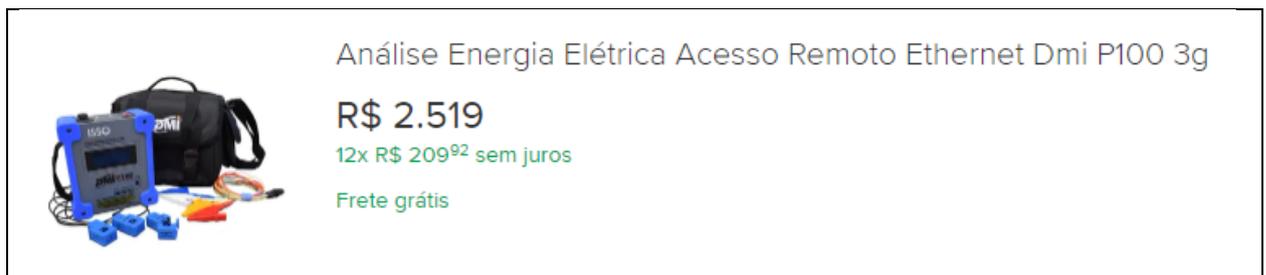
Após a realização de cotações de valores dos equipamentos similares ao protótipo desenvolvido, foi concluído que os valores de mercado estão bem acima dos valores gastos no projeto. Segue os valores dos equipamentos similares conforme as figuras 1 e 2:

Figura 1: Medidor de Energia com Internet Shield + Software



Fonte: (Mercado Livre, link disponível nas referências)

Figura 2: Monitor de Energia com Internet Shield + Software



Fonte: (Mercado Livre, link disponível nas referências)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto é uma pesquisa exploratória na qual o protótipo tem como funcionalidade medir de forma sistemática, por meio de um sensor junto com Arduino, a energia gerada de uma máquina ou caixa de disjuntores.

As informações são enviadas para um sistema web, desta forma, será transmitida em tempo real os gastos energéticos para o usuário, no qual fará gestão dos dados em forma de relatório em PDF e visualmente no sistema em forma de gráficos, assim, tomar decisões decorrentes das informações coletadas pelo dispositivo.

3.1 SOFTWARES

Softwares utilizados no desenvolvimento do protótipo de monitoramento de consumo de energia elétrica. Conforme mostrado no Quadro 1 é explicada o papel de cada uma no projeto.

HTML 5	Utilizado para desenvolver o corpo do sistema.
PHP	Utilizado Para desenvolver funções e responsável pela comunicação servidor x banco de dados.
JAVASCRIPT	Utilizada para gerar gráficos do Google e funções de atualizações do mesmo Charts.
BOOTSTRAP	Framework utilizado para layouts para deixar o sistema dinâmico e responsivo.
XAMPP Web Service	Responsável pelo funcionamento dos serviços do servidor web como PHP, MySQL e Apache.
VISUAL STUDIO CODE	IDE responsável pelo desenvolvimento da codificação

Quadro 1 – Tecnologia utilizadas

3.2 PLATAFORMA ARDUINO

O conceito Arduino surgiu na Itália no ano de 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos construídos de uma forma mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado. (SILVA, 2014).

Segundo Bittencourt (2017) a placa Arduino é um microcontrolador de circuito único responsável por processar o código desenvolvido pelo desenvolvedor, com componentes que facilitam a programação e incorporações para outros circuitos.

3.2.1 ETHERNET SHIELD W5100

O W5100 é um chip de interface de rede de chip único versátil com um controlador Ethernet de 10 / 100Mbps integrado internamente. É usado principalmente em um sistema integrado de alta integração, alta estabilidade, alto desempenho e baixo custo. O W5100 permite que você se conecte à Internet sem sistema operacional. (GEEETECH, Wiki. 2012).

3.2.2 MATERIAIS NECESSARIOS PARA O DESENVOLVIMENTO

Os materiais necessários para o projeto, são os descritos na Tabela 1.

Tabela1 – Materiais e preços

Matérias	Preços
Placa de Arduíno uno R3 com cabo USB	R\$ 62,90
Sensor de Corrente SCT-013-000	R\$ 54,90
Mini Protoboard 170 Pontos	R\$ 10,90
Kit Jumpers 10 cm	R\$ 25,90
Capacitor Eletrolítico 10uf	R\$ 25,90
Ethernet shield w5100	R\$ 72,90
Valor Total	R\$ 253,40

Fonte: (<https://www.filipeflop.com/>).

3.2.3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO:

Montagem do protótipo foi realizada conforme a Figura 3.

Fonte: <https://pt.slideshare.net/mlemos/energy-monitorarduinoday2014reduced>

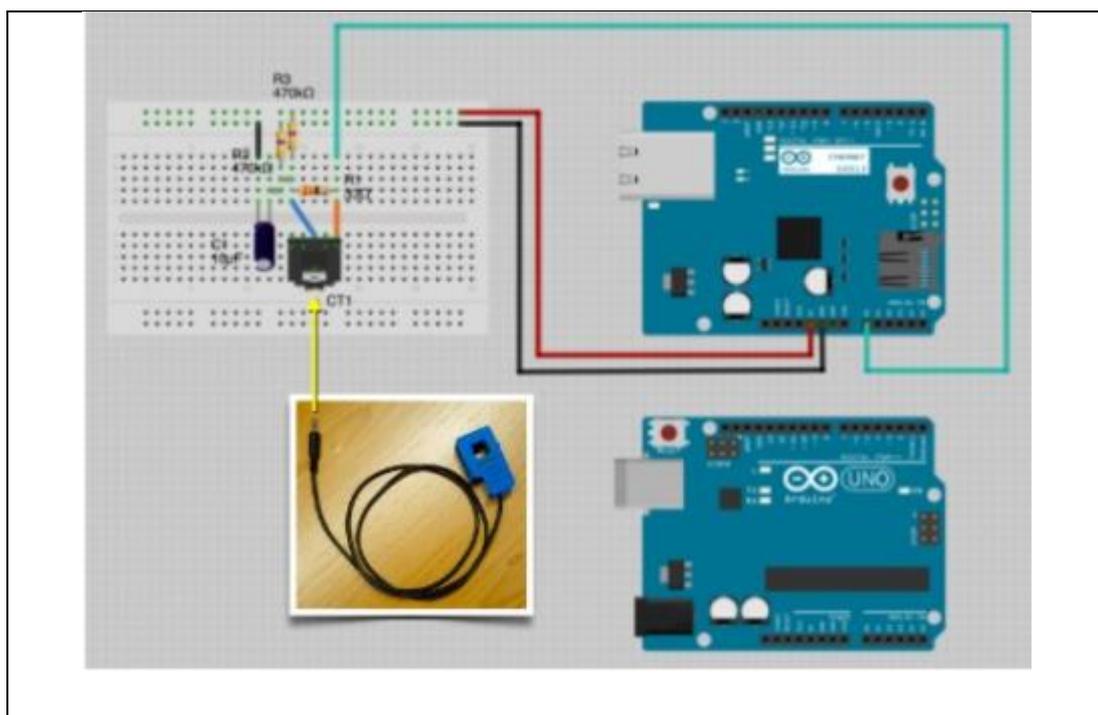
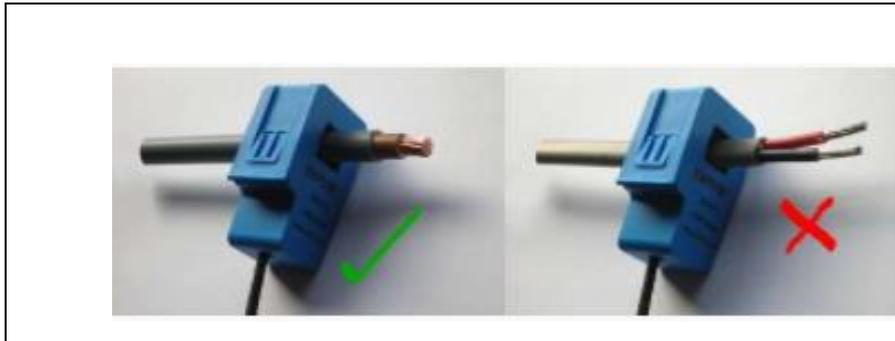


Figura 3– Montagem do protótipo

3.2.4 SENSOR DE CORRENTE NÃO INVASIVA SCT-013-000

O sensor de corrente SCT-013 tem uma grande vantagem nos demais sensores de correntes não invasiva, pelo fato de não precisar de entrar em contato com circuito elétrico tendo a necessidade de abraçar o fio já encapado, segue conforme a figura 4.

Fonte: (openenergymonitor.org).



. Figura 4: forma correta para usar o sensor SCT-013-000

3.2.3 MONTAGEM DO ETHERNET SHIELD W5100:

Para que seja possível a comunicação do Arduino com o sistema web desenvolvido, se fez necessário o componente Ethernet shield, responsável pela conexão entre Arduino/sistema web conforme a Figura 5.

Fonte: (própria).

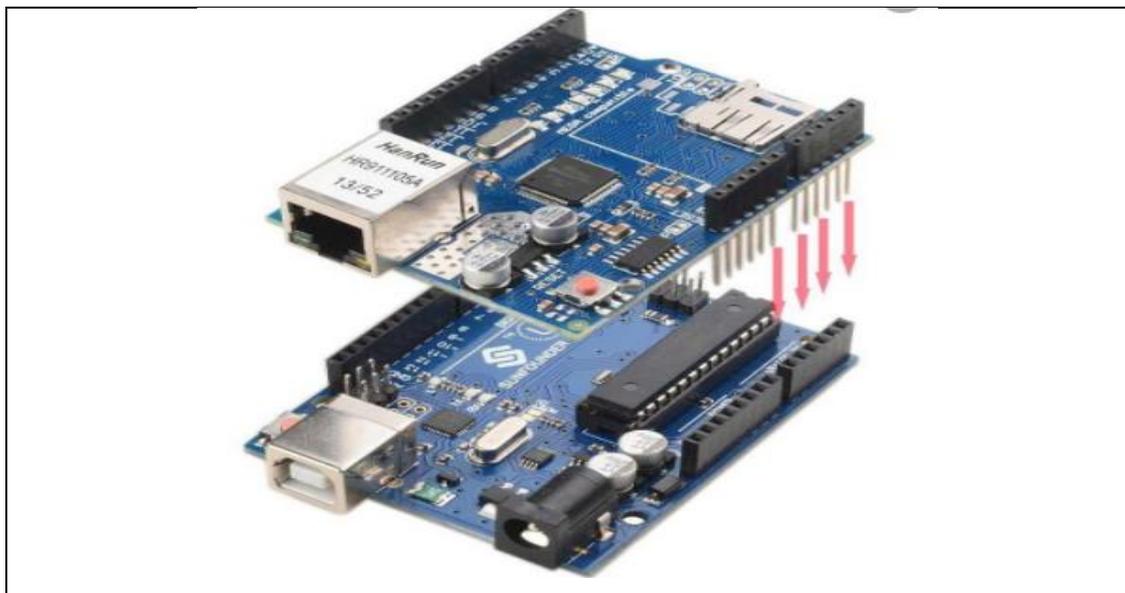


Figura 5: Acoplando Ethernet shield w5100 na placa Arduino.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA CODIFICAÇÃO DO PROJETO

Para que o sensor de corrente SCT-013-000, funcione é preciso carregar as seguintes bibliotecas conforme Figura 6.

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <Ethernet.h>
3 #include "EmonLib.h"
4 EnergyMonitor SCT013;
5 #include <Adafruit_GFX.h>
6 #include <MySQL_Connection.h>
7 #include <MySQL_Cursor.h>
8
```

Figura 6: bibliotecas necessárias

Em seguida, faz-se a instanciação e definição do IP e porta para comunicação (Figura7).

```
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
byte servidor[] = {192, 168, 1, 111};
#define portaHTTP 80
EthernetClient clienteArduino;
int pinSCT = A0; //Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 127;
int potencia;
```

Figura 7: instanciação do sensor e definição da potência e tensão.

Depois é feito o método de comunicação para teste onde retorna se está conectado à rede ou com falha na comunicação (Figura 8).

```
void setup() {
  SCT013.current(pinSCT, 6.0606);
  Serial.begin(9600);
  Ethernet.begin(mac);
  if(Ethernet.begin(mac)==0) {
    Serial.println("Falha ao conectar a rede");
    Ethernet.begin(mac);
  }
  Serial.print("Conectado a rede, no ip: ");
  Serial.println(Ethernet.localIP());
}
```

Figura 8: inicialização e atribuição de variáveis

Depois do teste de comunicação e feito a instanciação e inicialização dos atributos e variáveis do sensor e o Arduino para funcionamento da leitura (Figura 9)

```
void loop() {
double Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente
potencia = Irms * tensao; // Calcula o valor da Potencia Instantanea
Serial.print("Corrente = ");
Serial.print(Irms);
Serial.println(" A");
Serial.print("Potencia = ");
Serial.print(potencia);
Serial.println(" W");
delay(1000);
Serial.print(".");
delay(1000);
Serial.print(".");
delay(1000);
Serial.println(".");
delay(1000);
}
```

Figura 9: inicialização e atribuição de variáveis

Logo em seguida a leitura e coletada em tempo real, e com os métodos de condições é enviado para o servidor onde será preenchido em um banco de dados (Figura 10).

```
Serial.println("Conectando ao servidor...");
if(clienteArduino.connect(servidor, portaHTTP)){
clienteArduino.print("GET /arduino/www/salvar.php");
clienteArduino.print("?A=");
clienteArduino.print(Irms);
clienteArduino.print("&W=");
clienteArduino.print(potencia);
clienteArduino.println(" HTTP/1.0");
clienteArduino.println("Host: 192.168.1.111");
clienteArduino.println("Connection: close");
clienteArduino.println();
clienteArduino.stop();
}
else{
Serial.println("falha na conexao com o sevidor");
clienteArduino.stop();
delay(5000);
}
}
```

Figura 10: inicialização de variáveis de condições para enviar leitura

3.4 TESTE DO PROTÓTIPO LIGADO NO SERAL COM O MULTÍMETRO

Foram realizados testes em uma caixa de disjuntor, junto com o multímetro para validar as leituras registradas pelo Protótipo, onde foi feito via serial conforme na Figura 11



Figura 11: caixa de disjuntor junto com multímetro e protótipo.

3.5 RESULTADOS DO TESTE

Conforme mostrado na Figura 11, ficou claro que não houve quase diferença de resultados de variação de Amperes, mostrando assim que o protótipo é confiável e viável pelo seu custo. Resultado expressado em Amperes na Tabela 2.

Multímetro	6.6	6.8	6.6	6.6
Protótipo	6.9	6.9	6.9	6.7

Fonte: (própria).

4 REQUISITOS DO SISTEMA

Dentre todos os requisitos funcionais e não funcionais identificados durante a elicitação dos requisitos, destacam-se como principais os seguintes:

- O sistema foi desenvolvido na plataforma web.
- O sistema foi composto dos seguintes módulos: cadastro de usuários, painel de monitoramento, gráfico de leitura, calendário de leituras, relatório de média de energia gasta, relatórios de gostos energéticos em PDF.
- O usuário cadastrado no sistema terá acesso a tela de monitoramento em tempo real, onde poderá acompanhar a leitura coletada a partir do sensor configurado na placa Arduino.
- O sistema tem a opção de fazer relatórios conforme a necessidade do usuário, tanto de média de consumo em tempo real até em relatórios detalhados exportando em PDF.
- A página de painel de controle é composta de gráfico estatístico e de um calendário customizado com informações vindas em tempo real do banco de dados.

A Figura 12 representa as principais funcionalidades do sistema, através do diagrama de caso de uso.

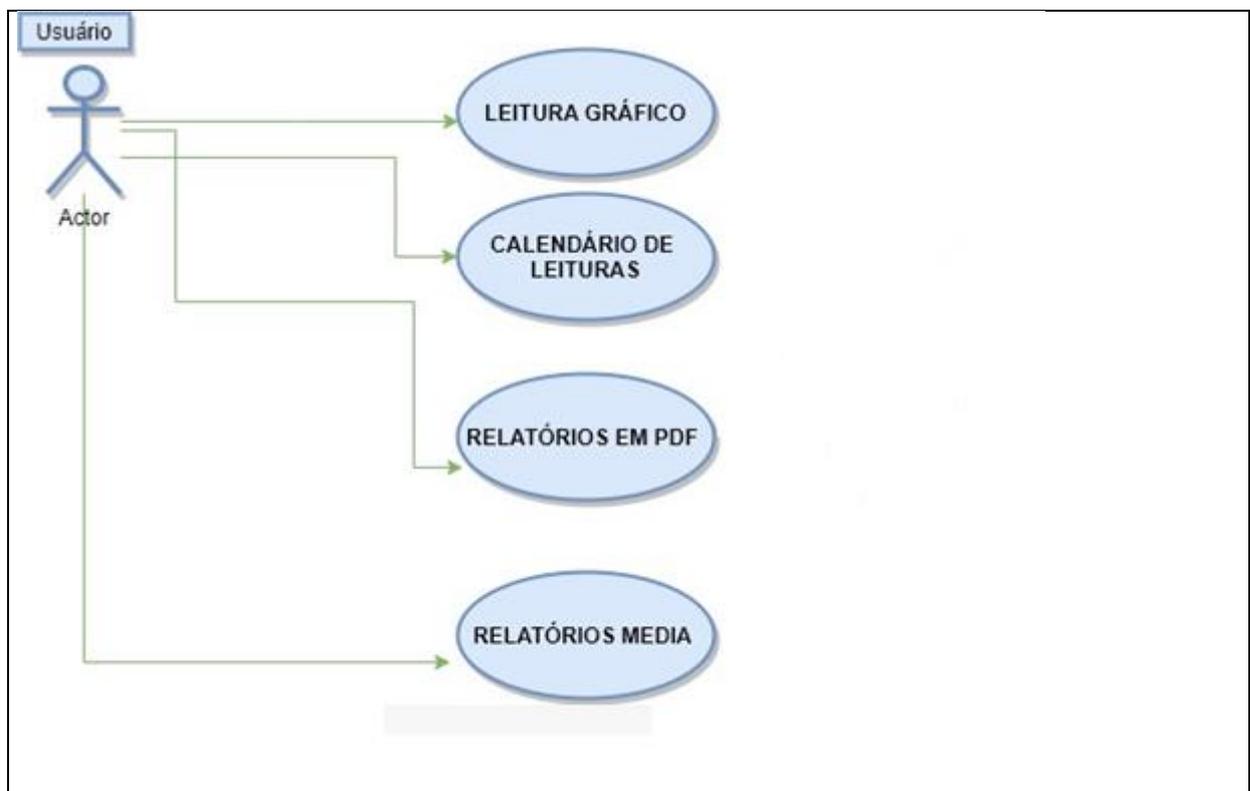


Figura 12 – Diagrama de caso de uso do sistema.

A Figura 12 mostra o diagrama de classes representando todas as entidades do sistema

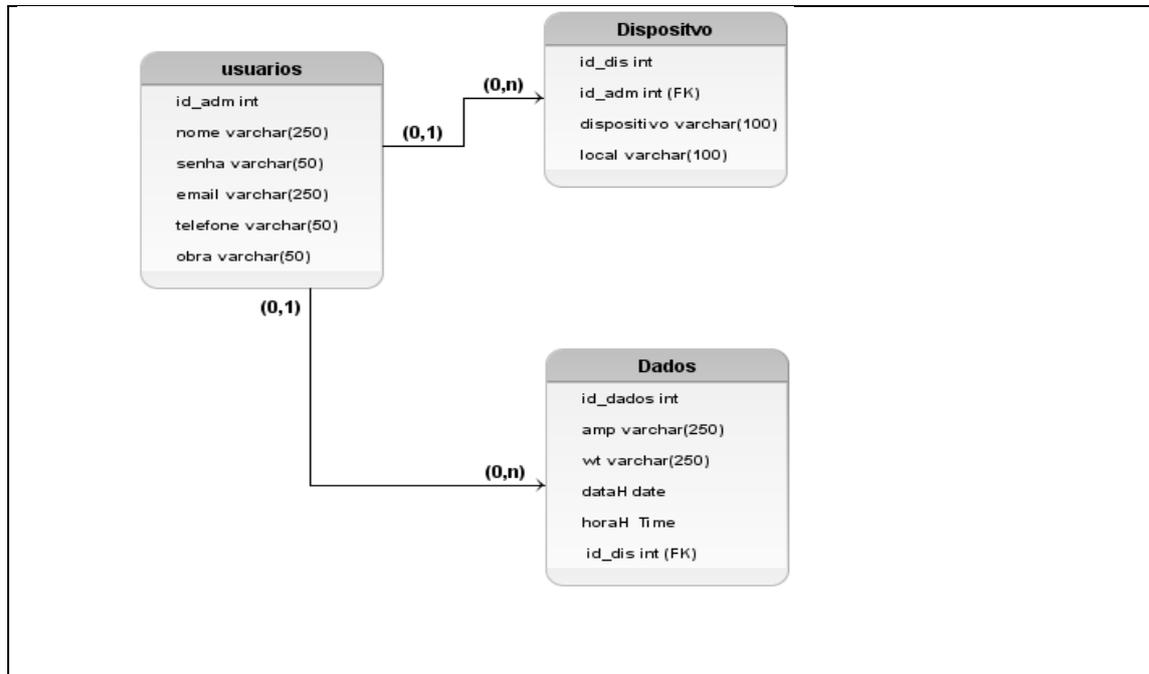


Figura 13 – Diagrama de Classes

A Figura 14 apresenta a modelagem do banco de dados.

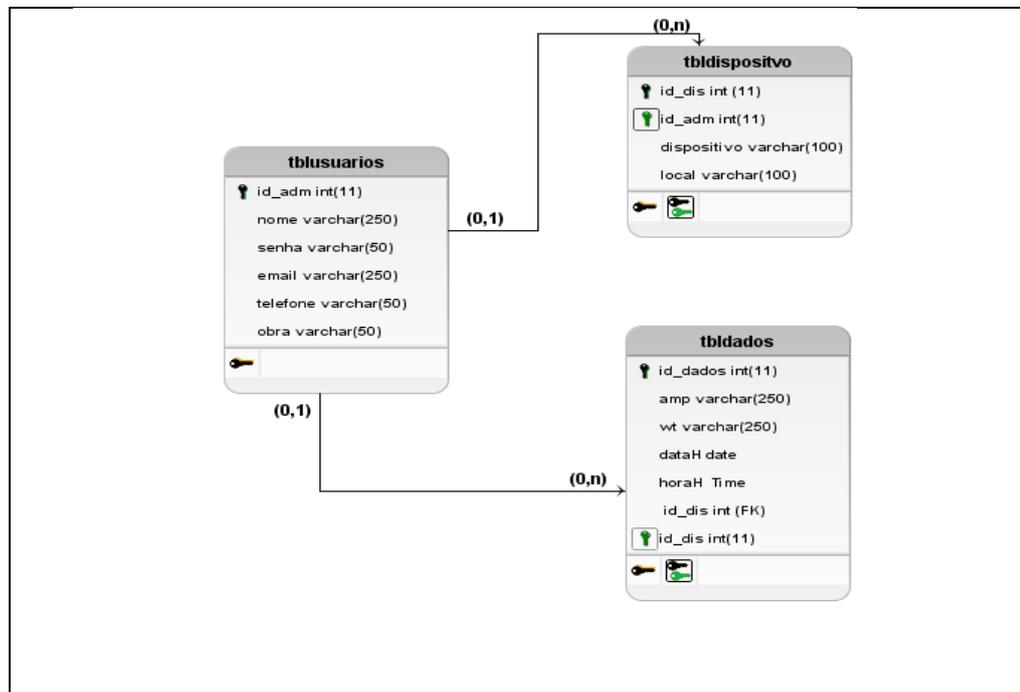


Figura 14 – Modelagem do Banco de Dados

4.1 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

O desenvolvimento da aplicação se deu com base na arquitetura front-end / back-end , onde o Arduino junto com ethernet shield se comunica via cabo de rede com uma aplicação em PHP onde o sensor faz a leitura em tempo real para enviar para base de dados MySQL e logo é exibido na aplicação web. A figura 15 mostra a arquitetura básica da aplicação.



Figura 15 – Arquitetura da Aplicação

5. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A interface foi desenvolvida de forma simples e fácil entendimento para o usuário, foi construída em PHP, utiliza tecnologia Google Charts para seu gráfico em tempo real e Ajax para a atualização da página. No quadro 2 está exemplificado a inserção de dados do Arduino ao banco de dados Mysql

```
<?php

include "conexao.php";
$Irms = $_GET['A'];
$potencia = $_GET['W'];

$SQL_INSERT = "INSERT INTO dados (amp, wt) VALUES (:A, :W)";

$stmt = $conexao->prepare($SQL_INSERT);

$stmt->bindParam(":A", $Irms);
$stmt->bindParam(":W", $potencia);

if($stmt->execute()){
    echo "insert_ok";
}else{

    echo "insert_erro";

}

?>
```

Quadro 2 – Trecho de código para inserção de dados do Arduino para o banco de dados Mysql

Para visualização do gráfico em tempo real foi utilizado o Google Charts. No trecho de código mostrado na Quadro 3, está toda logica de como incorporar no sistema.

```
<script type="text/javascript" src="https://www.gstatic.com/charts/loader.js" ></script>
<script type="text/javascript">
    google.charts.load("current", {packages:["calendar"]});

function GraficoCalendario(Dados) {
    var dataTable = new google.visualization.DataTable();
    dataTable.addColumn({ type: 'date', id: 'Datas' });
    dataTable.addColumn({ type: 'number', id: 'Watts' });
    dataTable.addRows(Dados);
    var Calendario = new google.visualization.Calendar(document.getElementByid('calendar_basic'));
}
```

Quadro 3 – Trecho de código onde mostra a incorporação dos gráficos

Para atualização dos gráficos em tempo real, sem precisar da F5 na página foi implementado a tecnologia AJAX. Seque o trecho de código mostrado no Quadro 4

```
<script src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.4.3/jquery.min.js"></script>
function AtualizaGrafico() {
  // Grafico
  $.ajax({
    url: "Grafico.php",
    dataType: 'json',
    success: function(data) {
      drawChart(data);
    }
  });
  // Calendario
  $.ajax({
    url: "Calendario.php",
    dataType: 'json',
    success: function(data) {
      Dados = data;
      for(var Pos in data) {
        Dados[Pos][0] = new Date(Dados[Pos][0]);
      }
      GraficoCalendario(Dados);
    }
  });
  setTimeout(AtualizaGrafico, 10000);
}
</script>
```

Quadro 4 – Trecho do AJAX onde atualiza o gráfico e calendário de leituras

6. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no processo de desenvolvimento do projeto.

O sistema está dividido em:

- Página de Login
- Página painel de gastos energéticos, gráfico em tempo real
- Campo de Relatório de medição
- Campo exportar em PDF
- Calendário de Leituras mês/ano

Na página de login, o usuário deverá inserir o e-mail e a senha para ter acesso ao sistema, sendo que o mesmo já possui cadastrado. A Figura 16 ilustra a página de login do sistema

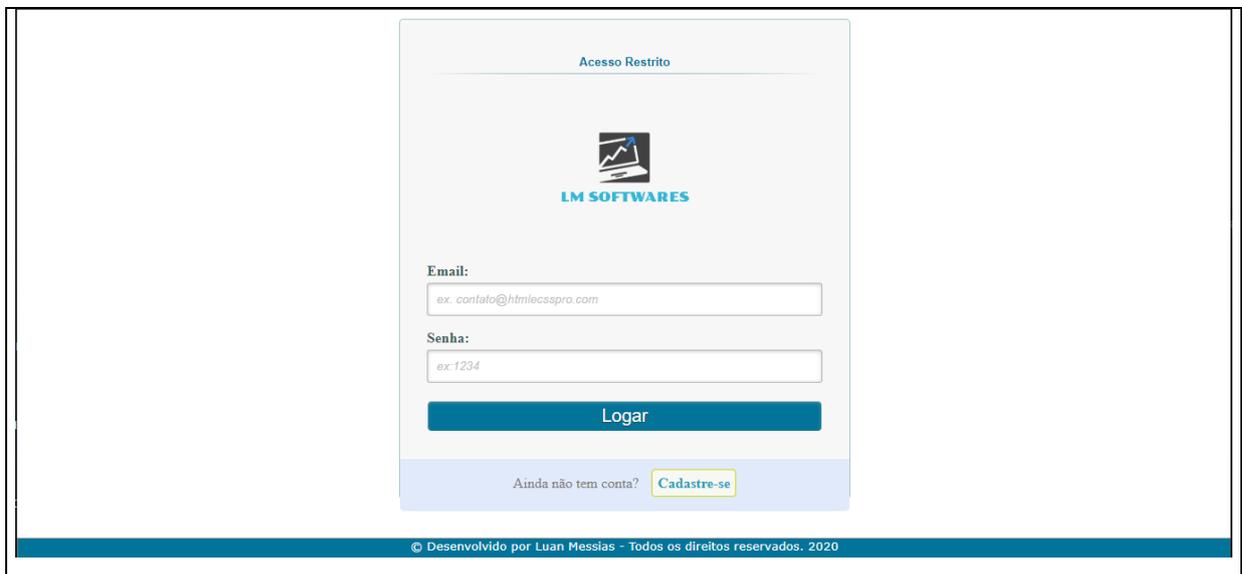


Figura 16- Página de Login

Na página painel de gastos energéticos dá uma visão geral do sistema, possui um menu com acesso a todos os módulos do sistema, contém botões de acesso para os módulos do sistema. É composto também por gráficos estatísticos que exibem dados vindos do banco de dados. A figura 17 ilustra a página de painel de gastos energéticos e suas respectivas funcionalidades

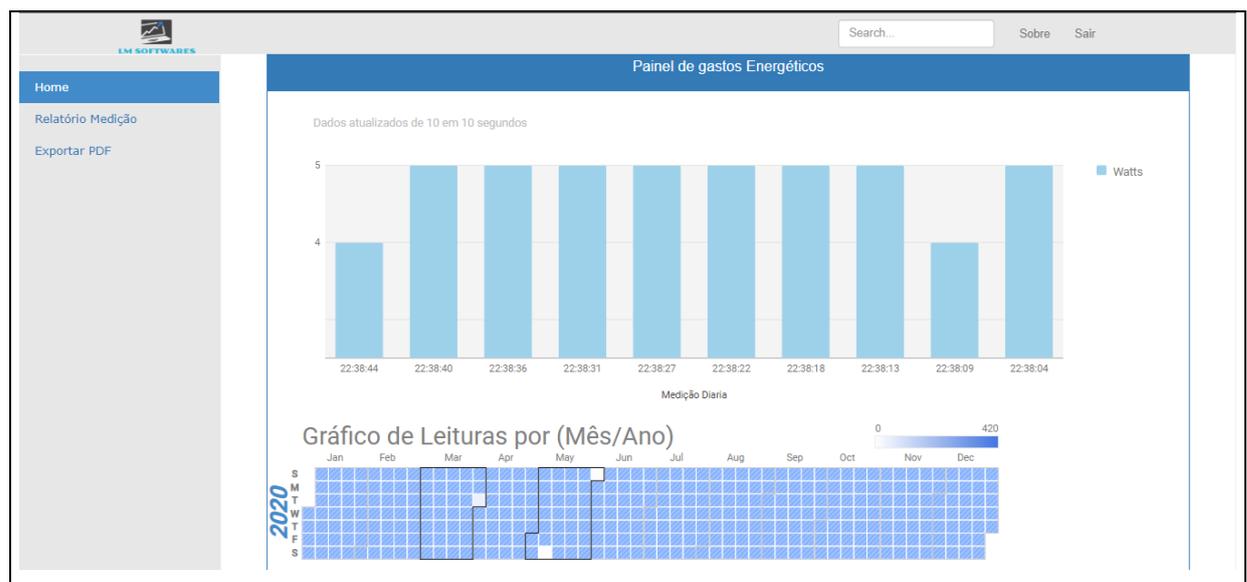


Figura 17- Página painel de gastos energéticos

A Figura 18 ilustra o campo de relatório de medição, onde é possível ver data, hora, amperes, watts, média de watts e amperes em tempo real.

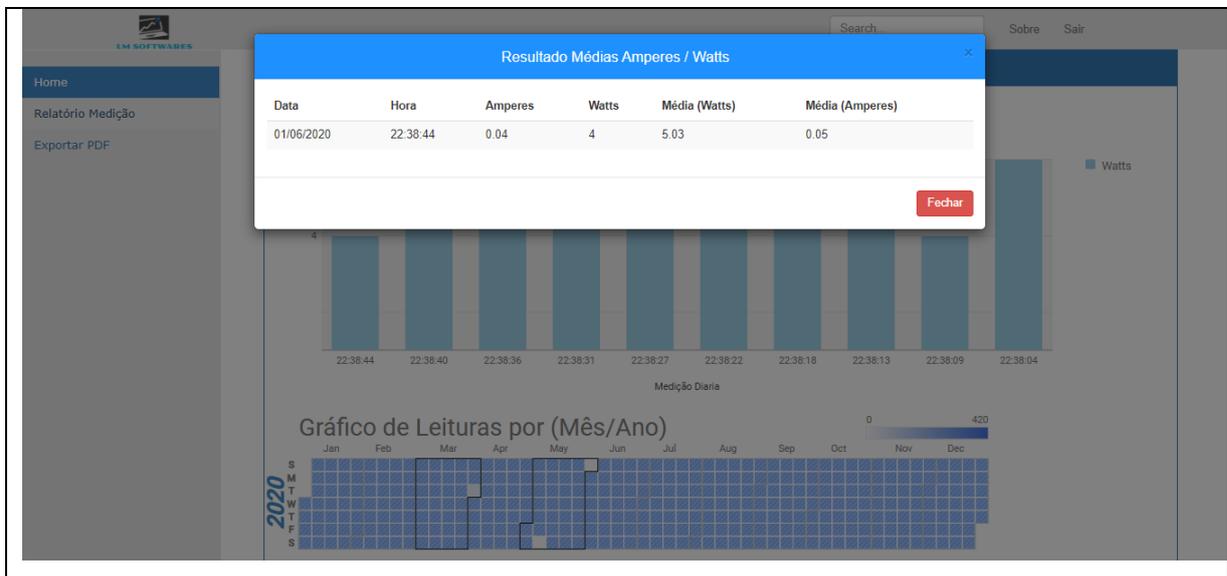


Figura 18- Campo de relatórios medição

A Figura 19 ilustra o campo exportar PDF, onde é possível selecionar as datas para serem exportadas em formato PDF.

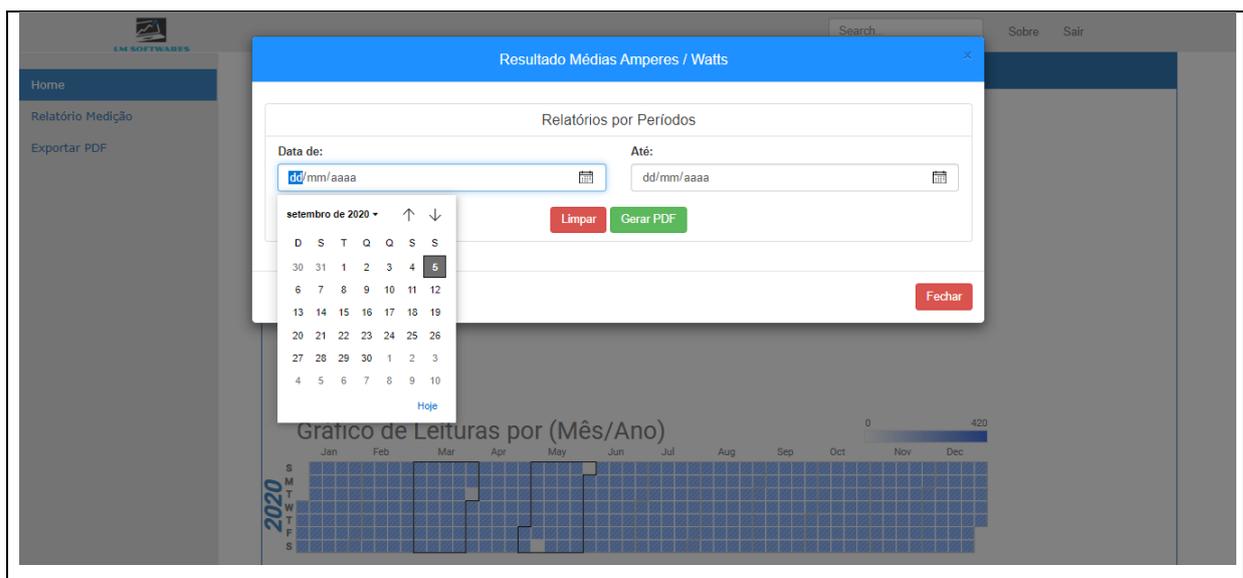
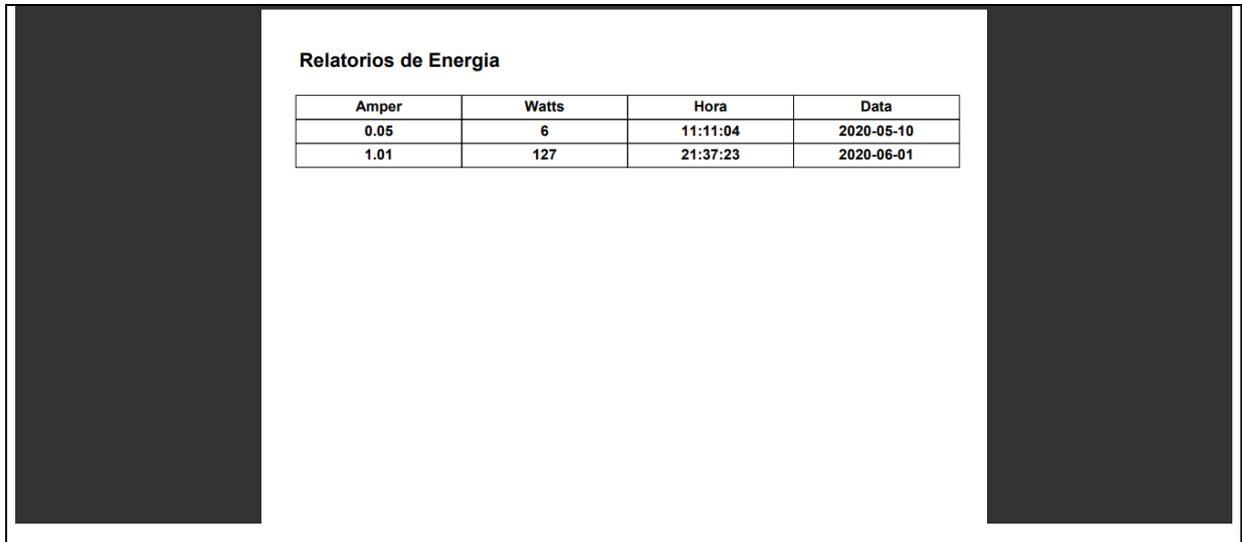


Figura 19- Campo de exportação de PDF

A Figura 20 ilustra o PDF já exportado depois de selecionar as datas desejadas, onde é possível baixar e imprimir.



Amper	Watts	Hora	Data
0.05	6	11:11:04	2020-05-10
1.01	127	21:37:23	2020-06-01

Figura 20- PDF já exportado

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido com intuito de assessorar empresas no campo industrial, no tocante ao consumo de energia elétrica que em nosso país tem elevado custo, o desenvolvimento de um medidor de energia de baixo custo é imprescindível para economia dentro do setor empresarial.

Nesse sentido o protótipo desenvolvido vem ao encontro dessa ideia de controle de gastos energéticos, no momento o produto consegue obter leituras de até 100 amperes, podendo medir maquinários indústrias de baixa potência, sendo assim, base para novos projetos na área para melhoria de desempenho de leituras acima de 100 amperes assim contemplando maquinários mais pesados.

O projeto conta com um sistema online, através dele é possível verificar leituras em tempo real e relatórios pertinentes a datas anteriores e atuais devendo haver melhorias no sentido de implementar gráficos comparativos de datas passadas e atuais para comparações de gastos necessitando assim desenvolvimento de melhorias no projeto.

Foi realizado o teste com o multímetro, sendo necessário que o protótipo fosse conectado no serial do notebook de onde a leitura foi mostrada em tempo real no monitor do mesmo, o resultado foi satisfatório tendo alterações mínimas nas medições, sendo o projeto viável no que ele propõe, ou seja, uma medição aceitável com uma curva de erro quase inexistente.

Sendo assim o trabalho provou ser eficiente e baixo custo como foi proposto, sendo um protótipo a ser melhorado e ampliado para ser uma ferramenta dentro de grandes empresas e indústrias para otimização de seus gastos energéticos.

REFERÊNCIAS

Análise Energia Elétrica Acesso Remoto Ethernet Dmi P100 3g. Disponível em <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-685633467-analise-energia-eletrica-acesso-remoto-ethernet-dmi-p100-3g-_JM#position=2&type=item&tracking_id=46eccb59-8385-43f0-893b-8a7a2eba44> Acesso em 19 de setembro de 2020.

EPE. Balanço Energético Nacional 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>> Acessado em: 02/11/2019

GEEETECH, Wiki. 2012. **Arduino Ethernet Shield**. Disponível em <http://www.geeetech.com/wiki/index.php?title=Arduino_Ethernet_Shield&oldid=860>.

Acesso em 20 de agosto de 2020.

VITOR, Vidal. 2017. **Medidor de corrente e energia com Arduino: Sensor de corrente**. Disponível em < <https://blog.eletrogate.com/medidor-de-corrente-e-energia-com-arduino-sensor-de-corrente-e-tensao/>>. Acesso em 20 de agosto de 2020.

João Luis Grizinsky de Brito 2016. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino**. Disponível em < http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_JoaoLuisGrizinskyBrito.pdf>. Acesso em 23/09/2020.

Medidor De Energia Ethernet Software Grátis Kit Dmi T50t. Disponível em< https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-750791530-medidor-de-energia-ethernet-software-gratis-kit-dmi-t50t-_JM?matt_tool=79246729&matt_word=&gclid=CjwKCAjw-5v7BRAMeiwAJ3DpuDnV0BxCczJfjB7azhBAiKgOhwKfFArWXUdeS9v2bRYtnqTGEzcrxoCPUYQAvD_BwE> Acesso em 19 de setembro de 2020.

RAMOS, Mateus Contim; ANDRADE, Valcimar Silva. **Desenvolvimento, Construção e Calibração de Uma Central de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica e de Água Utilizando o Microcontrolador Arduino**. In: XII ENEDS – Salvador, BA, Brasil, 12 a 15 de agosto de 2015 “por trás de toda tecnologia, há sempre uma ideologia”. Disponível em: http://www3.ifmg.edu.br/site_campi/v/images/arquivos_governador_valadares/Artigo_Eneds_2015.pdf. Acesso em: 19 set., 2019.

THOMSEN, Adilson. **Medidor de corrente não invasivo com Arduino**, 2015, Disponível em:<<https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>>Acessado em: 02/11/2019.