IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA COM ARDUINO

Carlos Wellington S. Cunha

[1]Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Av. dos Universitários, s/n – Jaderlândia – Castanhal – PA – Brasil, 68746-630

[2]Engenharia de Computação – Campos I, Castanhal – PA.

Engenharia de Computação
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Castanhal, PA– Brasil

Vanlaus@hotmail.com.br

Resumo. *Este trabalho propõe o desenvolvimento de um medidor de energia elétrica capaz de coletar informações elétricas especificadamente, tensão e corrente, de forma instantânea e simples, utilizando como base uma plataforma de hardware livre – Arduíno. Algoritmos são executados para calcular o consumo de energia de uma determinada carga, o processamento dos dados e os resultados são mostrados em um display LCD para visualização local. O principal objetivo desta implementação é facilitar o monitoramento de consumo de energia elétrica residencial, afim, que o consumidor tenha uma ferramenta para acompanhar seus gastos. Os resultados obtidos demonstram que o protótipo desenvolvido apresenta precisão e simplicidade compatíveis com experimentações com propósitos didáticos*

PALAVRAS-CHAVES: *Medidor de energia elétrica, Hardware livre.*

Abstract. *This work proposes the development of an electrical energy meter capable of collecting electrical information specifically, voltage and current, instantly and simply, using a free hardware platform - Arduino as a base. Algorithms are run to calculate the energy consumption of a given load, the data is processed and the results are shown on an LCD display for local viewing. The main objective of this implementation is to facilitate the monitoring of residential electricity consumption, so that the consumer has a tool to monitor their expenses. The obtained results demonstrate that the developed prototype presents precision and simplicity compatible with experiments with didactic purposes.*

KEYWORDS: *Electric Power Meter, Free Hardware.*

1 Introdução

A geração de consumo de energia elétrica são tópicos sempre debatidos, visto que este tópico abrange tanto questões ambientais quanto econômicas. Nos últimos anos os níveis de uso da energia residência e suas taxas cresceram bastante, conforme os dados registrados pela Empresa de pesquisa Energética (EPE), o consumo no Brasil atingiu 497.503GWh em 2021 um crescimento de 5,2%, comparado ao ano anterior, neste mesmo ano o valor da tarifa aumentou em 20,86%, mais que o dobro da inflação Figura 1**.** Com base nesses crescimentos e consequentemente no valor da tarifa de energia elétrica, muitas pessoas não conseguem pagar sua conta.

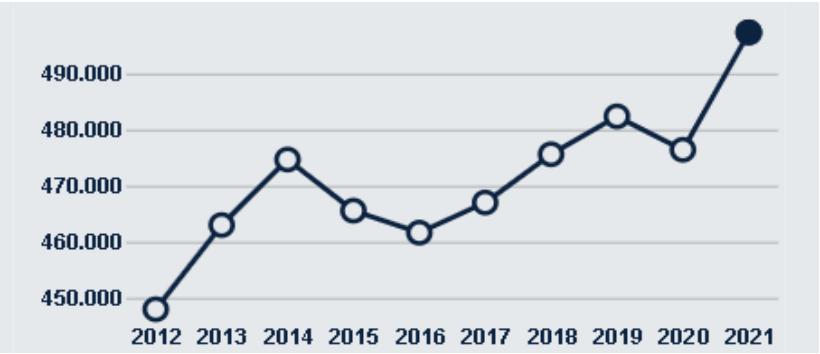

Figura 1**.** Volume anual de consume no Brasil em GWH.

Fonte: Empresa de pesquisa Energética

De acordo com a Agência Nacional de Energia elétrica (Annel) 39,43% das famílias de baixa renda atrasaram a fatura por pelo menos um mês em 2021, é compreensível que outros fatores também influenciaram no crescimento. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é descrever e apresentar a implementação de um medidor de energia em hardware livre – Arduino para descrever os aspectos de geração de energia elétrica; compreender e aplicar cálculos de grandezas elétrica; esboçar o impacto do consumo de energia elétrica para melhorar o controle de gastos, implementar o protótipo para monitoramento e também, a validação do mesmo ao longo dos testes de leituras em tempo real.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Elétrica

A energia elétrica é a capacidade de trabalho de uma corrente elétrica e funciona através da conversão de energia por meio de diversos combustíveis, sejam eles gerados pela força da água, do vento ou pela luz solar. No Brasil, a forma de geração de eletricidade mais comum é pela força da água movimentando turbinas (energia hídrica).

Para o consumidor residencial, as formas mais comuns de transformação dessa energia, são a luz, calor e movimento, sua medida é em kWh (quilowatt-hora), que representa a quantidade de energia utilizada para alimentar uma carga pelo período de uma hora. Sua equação fica da seguinte maneira:

$$Eel = P \times \Delta t \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde,

Eel = Energia Elétrica

P = Potência Ativa

Δt = Variação do tempo

2.1 **Plataforma Arduino**

O Arduino é um conjunto de componentes de hardware e software criada em 2005 pelo Italiano Massimo Banzi para contribuir no aprendizado para iniciantes em eletrônica, por ser uma plataforma totalmente de código aberto qualquer pessoa pode usa-la para desenvolver seus projetos de forma totalmente gratuita. Tem como objetivo fornecer uma plataforma fácil para prototipação de projetos interativos, utilizando um microcontrolador. Uma placa Arduino é composta por microprocessador, memória Random Access Memory (RAM), memória flash (para guardar o software), temporizadores, contadores, dentre outras funcionalidades. (ARDUINO, 2015). Seu microcontrolador é fabricado pela ATMEL Corporation e é programável utilizando as bibliotecas do Arduino, e também aceita código diretamente programados em C/C++, bem como o ambiente do Arduino que é baseado em Processing.

O Arduino é composto por dois componentes principais, o Hardware e o Software, sendo o hardware composto por uma placa onde são construídos os projetos. Já o Software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, que são basicamente os comandos que o

processador que está acoplado a placa irá executar, essa programação é conhecida como sketch. O sketch é gravado no processador do Arduino através de uma comunicação serial. Neste projeto foi utilizado o kit Arduino UNO, por possibilitar diversas aplicações por um preço reduzido. Os conectores da placa de dividem da seguinte forma:

• 14 pinos de entrada e saída digital (pinos 0-13): Esses pinos podem ser usados como entrada ou saída, dependendo da necessidade do projeto.

• 6 pinos de entradas analógicas (pinos A0 - A5): Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos.

• 6 pinos de saídas analógicas (pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11): São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saída analógicas PWM. A alimentação pode ser feita através da porta do comutador USB ou de uma fonte de alimentação externa AC (para a fonte se recomenda 12V). A programação do Arduino é feita através do compilador disponível gratuitamente para download no site da plataforma, sua IDE possui linguagem de programação própria baseada na linguagem C e C++.

3 METODOLOGIA

3.1 Componentes do sistema

A tabela 1 mostra os componentes que foram usados para montagem do medidor, com o custo de aquisição.

Tabela 1 - Componentes do projeto / preço

Componente	Qtd	Preço
Placa Uno R3	1	R$ 50,00
Sensor SCT-013 20A	1	R$ 70,00
Display LCD 16×2	1	R$ 20,00
Protoboard	1	R$ 12,50
Potenciômetro 10K	1	R$ 2,50
Resistor 10K	2	R$ 1,5
Capacitor 100µF 16V	1	R$ 2,00
Jumpers Macho-Macho	20	R$ 10,00
Fio Paralelo 1,0mm 1m	1	R$ 4,50
Plug Tomada Macho	1	R$ 2,00
Plug Tomada Fêmea	1	R$ 2,00
Cabo AB/USB	1	R$ 10,00
Total	-	R$ 187,00

Fonte: Autor

O sensor de corrente SCT 013 representado na Figura 2 é um transformador de corrente, ideal para leituras não invasivas, possui um funcionamento similar ao de um alicate amperímetro, possui especificação técnica de 20A no primário e de 1A de saída no secundário possui um fator K de 1800 referente as espiras de seu Trafo e opera entre as temperaturas de -25ºC e 70ºC. Sua faixa de operação é não linear em 3% e tem uma taxa de variação de seu valor nominal que vai de 10% a 120%, equivalente a 0.1A até 24A. Isso quer dizer que essa faixa são os melhores valores para se trabalhar.

Figura 2 – Sensor de corrente não invasivo 20A SCT-013
Fonte: Autor

O sensor possui uma abertura por onde o fio com a corrente a ser medida deve ser passado (em uma casa, seria ou a fase ou o neutro). Esse fio funciona como o primário do transformador, gerando no secundário uma corrente proporcional, de acordo com a razão de transformação do circuito. Uma diferença importante é que este sensor tem sinal de saída de corrente e não de tensão. Assim, é preciso um circuito adicional na saída para converter a corrente de saída em uma tensão passível de ser lida pelo Arduino.

Para medição da corrente foram utilizados os seguintes componentes:

- *Sensor SCT-013*
- *Resistor 10K*
- *Capacitor 100µF 16V*

Para dimensionar o resistor da carga usando o SCT-013 e Arduino, temos que determinar que a tensão máxima sobre o Arduino tem que ser 2,5V (tensão máxima lida pelo Arduino dividido por dois). Para garantir que a tensão no pino do Arduino varie entre 0-5V, vamos usar um pequeno divisor de tensão para somar 2,5V à tensão do resistor

de carga. Assim, teremos uma tensão variando em torno de 2,5V. É necessário saber o pico de corrente ao qual o resistor de carga será submetido. Sabendo que a corrente RMS máxima de saída é 0,05A, o pico de corrente é 0,0707 A. Assim, o resistor de carga que vamos usar é de:

$$Rcarga = Vmaxsensor/Imaxsensor = 2.5V / 0.0707A = 35.4\Omega \qquad \text{Equação (2)}$$

O valor comercial mais próximo é 33Ω. Esse será nosso resistor de carga. Nos valores de pico, a potência instantânea dissipada pelo resistor será 2,5*0,0707 = 0,177 W. Saber esse valor é importante para comprar um resistor que seja capaz de suportar a potência que será dissipada. Com esses valores, a tensão no resistor vai variar de 2,33V no pico positivo (33*0,0707) e -2,33V no pico negativo (33*-0,05). E a tensão no pino do Arduino vai variar de 2,5-2,33 = 0,17V até 2,5+2,33 = 4,83V. Ou seja, garantimos que a corrente alternada senoidal seja convertida em uma tensão senoidal que varia no intervalo de medição do Arduino. No entanto, em nosso sensor já veio com o resistor Building embutido. Assim, não será preciso inserir o resistor de 33Ω.

Todos esses valores são sugeridos pelo site openenergymonitor.org, que desenvolveu uma biblioteca que calcula o valor de corrente medido a partir desse sinal de tensão que acabamos de construir.

Temos ainda que encontrar um valor de calibração, que é passado como argumento da função emon1.current(pino, calibração) que nós vamos usar. O cálculo desse parâmetro é feito da seguinte forma:

$$Valor_Calibração = 1800/62 = 29 \qquad \text{Equação (3)}$$

Em que 1800 é a relação de transformação (de 20A para 1A, a corrente é dividida por 1800) e 62 é o valor do nosso resistor de carga. Assim, estamos prontos para usar a função no nosso programa. Para mais detalhes, nas referências.

Repare que é um sensor de capacidade de medir até 20A. A corrente de saída é bem pequena, 1A. O que significa que corrente menores, como 0.1A por exemplo, resultaram em variações de tensão na porta do Arduino extremamente pequenas. Assim,

7o SCT-103 20A é adequado principalmente para cargas maiores. Os mesmos foram montados seguindo o esquema na Figura 3, interligando o sensor com o Arduino.

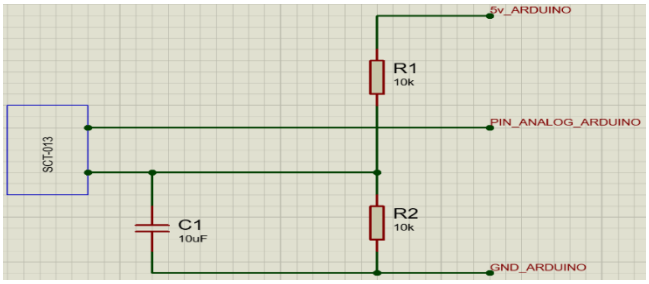

Figura 3 – Esquemático da montagem do sensor no Proteus
Fonte: Autor

Para que o sensor não precise ser alocado diretamente nos fios elétricos já existente na residência, foi implementado um adaptador de tomadas, criando uma extensão que é conectada diretamente na rede através de uma plug macho e fêmea, interligando o aparelho monitorado para tornar mais seguro o monitoramento e manipulação do sensor, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Extensão de Adaptação para Conexão com a Rede Elétrica
Fonte: Autor

3.2 ELABORAÇÃO DO CÓDIGO

A elaboração do algoritmo foi inteiramente desenvolvida através do software Arduino IDE, baseada em linguagem C. Inicialmente como mostra na Figura 5, definiu-se as bibliotecas “LiquidCrystal.h” como base para a interação entre o circuito e o LCD de 16 pinos e a “EmonLib.h” para interação com o sensor SCT-013 20A, desenvolvida pela energymonitor, mais informações nas referências.

```
//adicionando bibliotecas
#include <EmonLib.h>  // Carregar biblioteca Sensor
#include <LiquidCrystal.h> // Carregar biblioteca LCD

EnergyMonitor emon1; // Instrancia de classe do energy monitor
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Define pinos ligados no LCD
```

Figura 5
Fonte: Autor

Podemos ver na figura 6, atribuiu-se também as variáveis int e double para determinar parâmetros como a tensão, corrente e outra variáveis para calcular o valor em Kwh.

```
int rede = 110.0;              //Tensao da rede eletrica
int pino_sct = 1;              //Pino de leitura do sensor SCT

// Variáveis para conversão KWh para R$ em 30 dias uso diario de 1h
int dias = 30;                 // número de dias de uso
double hora = 1;               // hora de uso diario
double valorKwh = 1.106;       // valor do kwh no pará, de acordo com a Equatorial
```

Figura 6
Fonte: Autor

A partir disso, foi criado a estrutura de inicialização da função como mostrado na figura 7, e neste fica a inicialização da programação de exibição no lcd.

```
void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);            // configura LCD 16 colunas x 2 linhas
  lcd.clear();                 // limpa tela do LCD
  Serial.begin(9600);

  emon1.current(pino_sct, 29); // Pino, calibracao - Cur Const= Ratio/BurdenR. 1800/62 = 29.
  lcd.setCursor(0,0);          // seleciona coluna 0, linha 0
  lcd.print("(W):");           // mostra texto
  lcd.setCursor(0,1);          // seleciona coluna 0, linha 1
  lcd.print(" R$:");           // mostra texto
}
```

Figura 7
Fonte: Autor

Na estrutura de loop do código, mostrado na figura 8, foi calculado a corrente RMS, a potência e o valor do consumo do aparelho medido, este será calculado com estimativa de uso durante 01 hora por dia, em 30 dias.

```
void loop()
{
  double Irms = emon1.calcIrms(1480);            // Calcula o RMS corrente
  double w = Irms*rede;                          // Calcula a potencia
  double real =  ((w*dias*hora)/1000)*valorKwh; // Calcula valor de consumo em Real

  lcd.setCursor(4,0);                            // Seleciona a coluna 4, linha 0 no lcd
  lcd.print(w);                                  // nostra o valor corrente no lcd
  lcd.print("     ");
  lcd.setCursor(4,1);                            // Seleciona a coluna 4, linha 1 no lcd
  lcd.print(real,1);                             // nostra o valor R$ gosto no lcd

  delay(1000);
}
```

Figura 8
Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todo o processo de montagem foi realizado com os componentes físicos, mas para melhor entendimento realizou-se alguns esquemáticos ilustrativo equivalente com o real.

O protótipo final foi montado em uma protoboard, dividindo-se entre o sensor de energia, o LCD e os demais componentes. A Figura 9 mostra, esquematicamente, como foi organizada a montagem do protótipo na protoboard, visando facilitar a compreensão do leitor acerca das ligações entre os dispositivos.

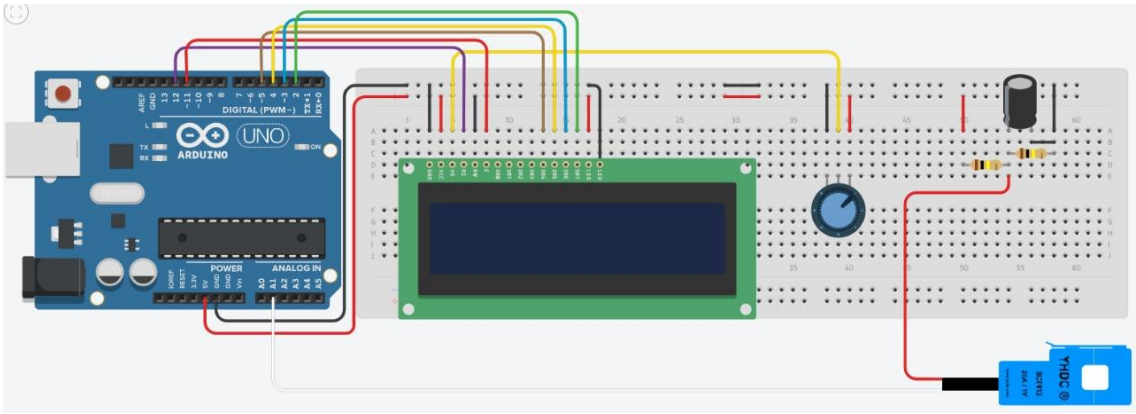

Figura 9 – Diagrama da montagem do protótipo
Fonte: Autor

Na figura 9, pode-se observar o sensor SCT-013, ligado a 2 resistores de 10 kΩ em paralelo com o capacitor de 100uf para a limpeza de ruídos. Observa-se que todo o circuito foi alimentado através do pino 5V do Arduino.

Logo abaixo na Figura 10, segue o resultado da montagem final do protótipo, pronto para uso.

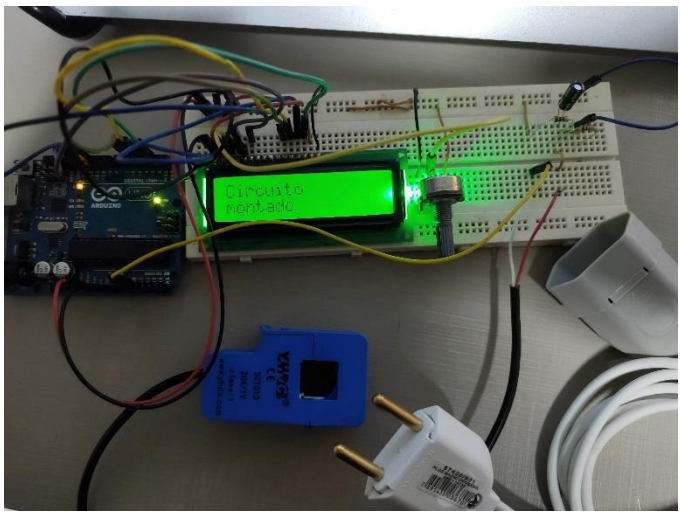

Figura 10 – Montagem em ambiente real
Fonte: Autor

Para validar o protótipo construído foi realizado a medição de 2 aparelhos, sendo eles: um ventilador e um secador de cabelo. Vale ressaltar, que no código implementado foi usado valores para simular o uso de uma hora por dia, durante 30 dias, para o consumidor ter uma noção do gasto no final do mês, assim, não precisará deixar o protótipo e o equipamento ligado durante todo esse período.

Na primeira medição foi usado o ventilador Oster com a potência total de 140W, de acordo com o fabricante, segue nas Figuras 11 e Figura 12 o valor original e medido pelo protótipo.

Modelo	OVTR881-127 / OVTR881-220
Tensão	127V / 220V
Potência	140W
Consumo	0,140kWh
Dimensões [LxAxP]	500x1510x403 mm
Garantia (meses)	12 meses
Peso	5,870Kg
Código de barras	7898700212600 | 7898700212617

Figura 11 – Dados técnicos do ventilador Oster
Fonte: Oster

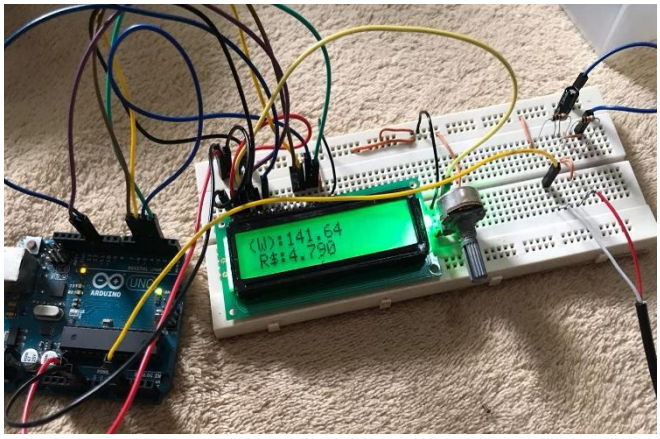

Figura 12 – Medição do ventilador Oster
Fonte: Autor

Como podemos observar nas medições da Figura 12, corresponde a bem proximo do valor da potência na ficha tecnica.

Na segunda medição, foi usado o secador da marca Taiff com a potência total de 2100W, segue as informações coletadas do aparelho e da medição Figura 13 e Figura 14.

Marca	Taiff
Certificação	Não aplicável
Número de unidades	1
Voltagem	110 Volts
Potência em watts	2100 watts
Observações	- Foto meramente ilustrativa. Considerar somente especificações na descrição do produto. - A versão 110V possui: pino de 4,8mm e tem 16,5A, consequentemente utiliza a tomada de 20A - A versão 220V possui: pino de 4 mm e tem 9,5A, consequentemente utiliza a tomada de 10A

Figura 13 – Dados técnicos do secador Titanium Taiff 2100W
Fonte: Taiff

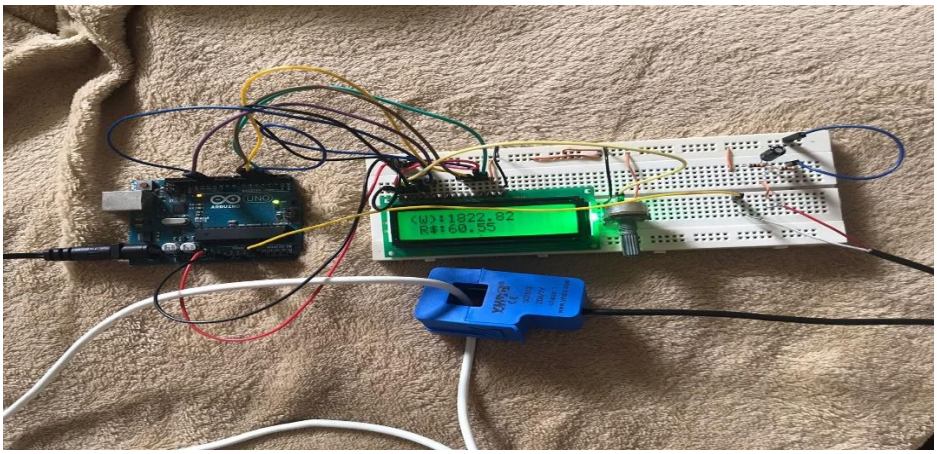

Figura 14 – Medição coletada aparelho secador
Fonte: Autor

Podemos observar na Figura 14 que nessa segunda medição o valor não ficou aproximado do informado pela ficha técnica. Contudo, nas observações mostra que na versão de 110V, a corrente do aparelho é 16,5A, de acordo com a lei de ohm, podemos então multiplicar a tensão pela corrente e obtemos a potência de 16,5*110 = 1815W, deste modo, temos uma medição muito próxima a referência.

5 CONCLUSÕES

O protótipo implementado para monitorar o consumo de energia residencial, possibilitou acompanhar e identificar o gasto dos aparelhos, permitindo visualizar as variações de voltagem e amperagem que incidem diretamente no funcionamento de um dispositivo conectado à rede elétrica. O mesmo, foi construído de forma simples para reduzir o valor gasto em sua construção. Sendo assim, os resultados não foram afetados pelo baixo custo de montagem, pelo contrário, ocorreram melhores que o esperado.

A corrente medida pelo sensor de corrente não evasivo SCT-013-20A, possibilitou uma maneira segura de obter-se dados da corrente que flui dos cabos do aparelho conectado à tomada. Tornou-se possível acessar os dados monitorados pelo Serial Monitor da IDE Arduino e pelo próprio LCD, afim de realizar o monitoramento do mesmo em tempo real. Também foi evitado o uso de ferramentas para deixar o circuito monitorando por um grande período, assim, facilitar o manuseio e prevenir que deixe os aparelhos ligados em todo momento da medição, tornando desnecessário o acompanhamento de verificar os valores no decorrer do tempo.

Com os dados disponibilizados pelas interações e cálculos realizados na implementação da aplicação embarcada, proporcionou-se a identificação de níveis de consumo de energia elétrica da aparelhagem que se utiliza numa residência, como foi aplicado neste projeto, tornando possível observar o gasto de um determinado aparelho, deste modo, verificar a eficácia de aparelhos antigos, permitindo a visualização do consumo e a força gerada para manter o equipamento em funcionamento com a potência ativa. Por fim, este foi elaborado para ajudar a conscientizar e procurar um uso mais eficiente da energia contratada, tomando iniciativa, com base nos dados mostrados para reduzir o consumo de energia.

6 REFERÊNCIAS

Darlan, A., e Luiz G, (2021) "Energia elétrica sobe mais que a inflação em 2021", https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/27/conta-de-luz-esta-cada-vez-mais-cara-entenda-por-que-ela-sobe-e-quais-os-problemas-dessa-escalada-de-precos.ghtml, novembro 2022.

Hailton, M., e Adolfo S, (2022) "Anuário estatístico de energia elétrica de 2022", http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario-livro/#Apresenta%C3%A7%C3%A3o, novembro 2022.

Empresa de pesquisa Energética, (2022) "Anuário estatístico de energia elétrica, interativo", http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario/, novembro 2022.

Minas, E. e Minas, E. (2022). "Brasil tem a segunda conta de luz mais cara do mundo", https://clickpetroleoegas.com.br/brasil-tem-a-segunda-conta-de-luz-mais-cara-do-mundo-e-255-de-todo-orcamento-familiar-e-utilizado-somente-para-pagar-energia, novembro 2022.

OpenEnergyMonitor, (2020). "Installation and Calibration", https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac, novembro 2022.

Joseane, R, (2020), "ENERGIA ELETRICA", https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/energia-eletrica, novembro 2022.

Oster, (2022). "Ventilador de Coluna Oster Power Fresh", https://www.oster.com.br/ventilador-de-coluna-oster-power-fresh/p, novembro 2022.

Taiff. (2022). "Secador de Cabelos Taiff Titanium 2100W" novembro 2022. https://www.casasbahia.com.br/secador-de-cabelos-taiff-titanium-colors-com-emissao-de-ions-motor-ac-profissional-preto-laranja-2100w-1641166/p/1641166?utm_medium=Cpc&utm_source=GP_PLA&IdSku=1641166&idLojista=10037&tipoLojista=1P&&utm_campaign=gg_pmax_longtail_bele&gclid=Cj0KCQiAm5ycBhCXARIsAPldzoWq2wg62i6fxjGQxzF4AlxVGEuIGdCcpVeh25wr1Q_8SkKz57wZXfwaAh72EALw_wcB&gclsrc=aw.ds, novembro 2022.