



COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e II Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019

Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia
no contexto da globalização 4.0"

PROJETO E MONTAGEM DE UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA DIDÁTICO E DE BAIXO CUSTO

Gerônimo Barbosa Alexandre – geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br
Instituto Federal de Pernambuco – *Campus Garanhuns*
Rua Padre Agobar Valença, s/n
55299-390 – Garanhuns – Pernambuco

Múcio d'Emery Alves Filho – mdaf@discente.ifpe.edu.br
Instituto Federal de Pernambuco – *Campus Garanhuns*
Rua Padre Agobar Valença, s/n
55299-390 – Garanhuns – Pernambuco

Vitoria Borges Santana – vbs@discente.ifpe.edu.br
Instituto Federal de Pernambuco – *Campus Garanhuns*
Rua Padre Agobar Valença, s/n
55299-390 – Garanhuns – Pernambuco

Resumo: O presente trabalho consiste no projeto e na montagem de um medidor de energia elétrica inteligente didático com sistema de medição, armazenamento de dados e sistema de monitoramento remoto que visa dar suporte ao ensino de Instrumentação Eletrônica e ao consumidor residencial, detalhando em tempo real a curva de demanda dos equipamentos por meio de hardware de baixo custo (Sensor de corrente integrado ao módulo ESP32 e plataforma de análise IoT). A implementação do medidor inteligente proporciona o envolvimento dos estudantes de cursos técnicos e bacharelados, permitindo capacitação profissional na área de eletrotécnica e automação. O diferencial do trabalho está em: (1) supervisão remota de dados; (2) baixo custo; (3) baixo consumo de energia pelos componentes utilizados no protótipo; (4) caráter didático. O protótipo realizou medições de tensão e corrente em uma geladeira por 7 dias seguidos com disposição dos dados na internet no seguinte canal eletrônico: <https://thingspeak.com/channels/769009>. O sistema de monitoramento mostrou-se confiável e eficiente nas medições permitindo o acompanhamento do consumo bem como enviando mensagens para celular de algum surto de tensão ocorrido.

Palavras-chave: Protótipo. Consumo de energia. Baixo custo. Instrumentação eletrônica.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica pode ser gerada através de diferentes fontes, como por meio das usinas hidrelétricas, maior fonte de energia do Brasil, que utilizam as quedas d'água dos rios para gerar eletricidade. A energia elétrica é sem dúvida de extrema importância a nível residencial e industrial, porém uma das questões mais discutidas atualmente é o seu uso racional, dado que seu uso gera impactos ambientais e econômicos. O aumento do desperdício de energia elétrica implica obrigatoriamente no aumento da potência instalada de geração. Este aumento representa um custo elevado, tanto em termos ambientais quanto em investimentos em equipamentos (MARTINS, 1999). No Brasil existem várias políticas destinadas a apoiar a redução do consumo de energia elétrica, com as quais o medidor de energia elétrica proposto

poderá colaborar. Destaca-se o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) cujo objetivo é promover a racionalização da produção e o consumo de energia elétrica (EPE, 2018).

O medidor de energia elétrica proposto foi projetado para fazer a medição em tempo real e armazenar os valores mensurados em uma nuvem de dados, sendo possível assim criar um histórico do consumidor. Da mesma forma, uma aplicação móvel baseada em aplicativo Androide é conectada via Wi-Fi ao sistema para mostrar as curvas características do consumo atual de determinado equipamento que está sendo submetido à medição naquele instante de tempo.

O protótipo baseia-se no uso do microcontrolador Espressif Devkit ESP-WROOM-32 V1.0, configurada de tal forma que possa coletar os valores de tensão e corrente consumidos pelas cargas elétricas presentes na residência. A medição de corrente é realizada com a ajuda de dois sensores de efeito Hall, que abraçam os dois condutores de fase, se forem cargas bifásicas, e um condutor de fase, se forem cargas monofásicas. Os valores obtidos são transferidos para a placa Arduino, onde o sinal é processado para obter um valor eficaz (RMS) da corrente aferida. O medidor conta com sistema de comunicação remota para monitoramento via *internet* do perfil diário de consumo do cliente: a plataforma ThingSpeak, uma ferramenta gratuita permite o monitoramento remoto e também permite fazer estatísticas em tempo real.

Desta forma, o objetivo do Trabalho é o projeto e a montagem de um medidor de energia didático e de baixo custo para auxiliar inicialmente no processo de ensino-aprendizagem no Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, visando a elaboração de metodologias alternativas que integrem os conhecimentos dos alunos na busca de um melhor aproveitamento do processo ensino-aprendizagem.

2 A UTILIZAÇÃO DO MEDIDOR DE ENERGIA INTELIGENTE NO ENSINO

Por se tratar de uma área inerentemente multidisciplinar, a instrumentação eletrônica envolve conceitos e problemas de diversas áreas. Assim, o medidor de energia elétrica inteligente pode ser usada como ferramenta de ensino para várias disciplinas de alguns cursos de engenharia.

Na engenharia elétrica, o medidor didático pode ser usada no ensino de disciplinas que abordem temas como programação de microcontroladores, medição de grandezas elétricas, instrumentação inteligente, entre outros.

Nesta seção, aborda-se o uso do medidor didático como ferramenta de ensino no contexto da disciplina Instrumentação Industrial, a qual se trata de uma disciplina eletiva (opcional) oferecida para alunos a partir da 8º Semestre do curso de graduação em engenharia elétrica do Instituto Federal de Pernambuco Campus Garanhuns.

2.1 Metodologia Empregada na Disciplina

No ensino baseado em projetos o aluno passa ser agente ativo do processo e o professor atua como um consultor, orientando o aluno nas etapas propostas, auxiliando na melhor solução e no *feedback* de informações técnicas, na gestão de tempo e na gestão dos materiais.

No início do semestre, os alunos são apresentados aos temas propostos para o projeto e a montagem dos medidores didáticos, sendo estimulados a discutirem sobre o funcionamento de cada medidor. Em seguida a Turma é dividida em Grupos e por meio de sorteio, o medidor didático a ser confeccionado é escolhido.

A partir das aulas teóricas sobre os diversos tipos de medidores usados na aferição de grandezas físicas industriais é solicitado aos grupos o projeto do medidor escolhido (desenhos 2D e 3D, lista de materiais, orçamento e diagramas elétricos).

Ainda na Unidade I é solicitado os testes individuais de cada componente usado e a montagem física do protótipo. Já na Unidade II é solicitado os testes do medidor didático construído e a validação da supervisão local / remota dos dados medidos.

Há semestre letivo onde poderá haver apenas uma proposta de medidor didático, como há semestre letivo que haverá várias propostas de medidores. No Semestre letivo 2019.1 foi proposto a construção e a validação de um medidor de energia elétrica digital capaz de mandar informações do consumo energético da residência ao consumidor remotamente.

A turma foi dividida em 04 (quatro) grupos que confeccionaram quatro protótipos, dois grupos optaram pelo uso da tecnologia Bluetooth para supervisão dos dados, um grupo optou pelo uso da plataforma de internet das coisas (ThingSpeak), um grupo optou pela criação de um servidor Web.

Neste Trabalho será apresentado o Medidor de energia inteligente com supervisão de dados pela plataforma ThingSpeak desenvolvido pelo Grupo 3.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo consistiu em uma pesquisa bibliográfica e documental conforme a proposta inicial, através de livros, artigos, sites acadêmicos e especializados, no período de fevereiro a abril de 2019. Após a revisão bibliográfica e o levantamento de campo, foram elaborados os desenhos e esquemas elétricos, bem como a lista de materiais do protótipo. Nas seções seguintes são descritos os materiais utilizados na montagem do medidor de energia.

3.1 O Módulo ESP32

O módulo Espressif Devkit ESP-WROOM-32 V1.0 é um microcontrolador com WiFi, Bluetooth e processador integrados, com o qual é possível desenvolver aplicações envolvendo IoT – Internet das Coisas. Seu WiFi suporta uma taxa de 150Mbps e potência de 20,5 dBm na antena, permitindo uma ampla faixa física e conexão direta à internet; enquanto seu Bluetooth LE permite que qualquer celular se conecte a ele enviando diversos tipos de informação com baixo consumo de energia.

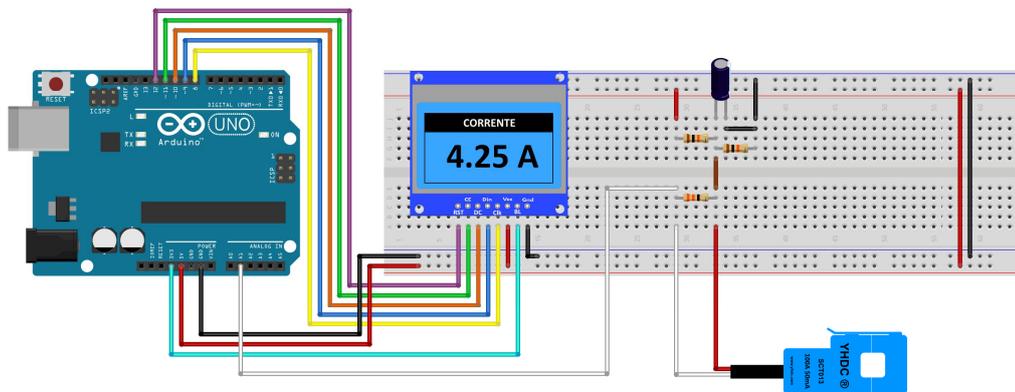
3.2 A Plataforma ThingSpeak

O ThingSpeak é uma plataforma de análise IoT (*Internet of Things*) que permite agregar, visualizar e analisar *streams* de dados, de uma forma muito simples. Seu protocolo de comunicação é baseado em HTTP para envio de dados gerados no ESP32, Arduino ou qualquer outro dispositivo com recursos para comunicação em rede. Uma de suas grandes vantagens é a possibilidade de visualização dos dados enviados pelos dispositivos em tempo real, e também a possibilidade de analisá-los recorrendo ao MatLab, *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico.

3.3 Sensor de corrente de efeito Hall

O Sensor SCT 013-000 100 A é um ideal para aplicações não invasivas e seu funcionamento é similar ao de um alicate amperímetro. Sua especificação técnica é de 100A no primário, com saída de 50mA no secundário, possuindo um fator K de 2000 (referente à relação de espiras do transformador de medição) e suportando temperaturas entre -25°C e 70°C . Na Figura 1 é ilustrado o esquema de ligação do sensor ao microcontrolador.

Figura 1. Esquema de ligação do sensor de corrente ao Arduino UNO R3.



Fonte: THONSEN, 2015.

O sensor de corrente é o “coração” do medidor, pois ele é responsável pela medição indireta da potência elétrica, esta multiplicada pelo tempo tem-se a energia elétrica consumida por hora, conforme equações,

$$P_{medido}(W) = 220 * I_{medido} \quad (1)$$

$$Energia\ diária\ (W.h) = P_{medido} * \Delta t \quad (2)$$

$$Consumo\ mês\ (kW.h) = Energia\ diária * 30 * 10^{-3} \quad (3)$$

$$Fatura\ (R\$) = Consumo\ mês\ (kW.h) * taxa + Impostos \quad (4)$$

Onde: Δt é o tempo em horas, a taxa varia de estado para estado é o valor do kWh consumido e os impostos variam em cada estado (ICMS) sendo incluído na fatura o valor a ser pago pela iluminação pública nas cidades.

4 O MEDIDOR DE ENERGIA DIDÁTICO CONFECCIONADO

O medidor experimental foi desenvolvido no Laboratório de Eletrônica e Circuitos Elétricos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco campus Garanhuns por um grupo de alunos do curso de Engenharia Elétrica. A metodologia utilizada consistiu no seguinte procedimento: (A) pesquisa de mercado e levantamento de campo; (B) Dimensionamento do sistema de tanques (desenhos 2D e 3D, esquemas elétricos, lista de execução e lista de materiais); (C) Compra dos equipamentos e componentes; (C) Montagem física; (D) Desenvolvimento do sistema de supervisão local de dados (E) desenvolvimento da plataforma de supervisão / comando remota de dados.

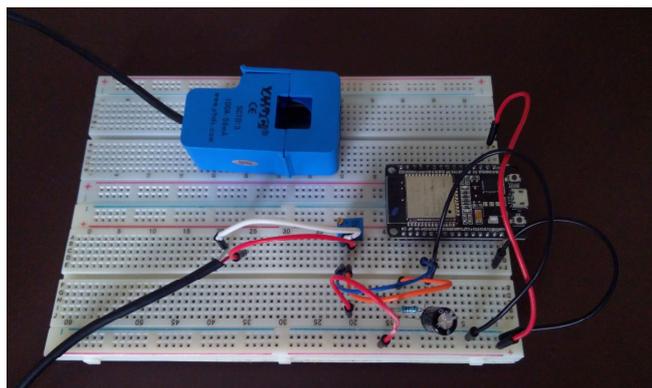
Inicialmente foi feita uma comparação do medidor proposto como o modelo disponível no mercado (AEOTEC Energy Meter Samsung), para verificar se os valores de corrente medidos com o sensor de efeito hall e o Arduino possuem uma similaridade com os valores reais. Os valores RMS medidos são enviados através de uma conexão serial para o microcontrolador (RS232) e por um cartão para a placa Raspberry Pi, onde são armazenados e enviados para a planilha do Google e para o canal do ThingSpeak.

Com os dados armazenados, foram feitos os gráficos de consumo de energia (corrente, potência ativa e energia consumida), o que permite obter uma estimativa mensal do consumo de energia. Tal consumo pode ser gerado por um equipamento elétrico ou pelo consumo total de uma residência.

Na Figura 2 é ilustrado os detalhes do circuito de condicionamento do sinal de corrente as ligações ao microcontrolador ESP32 em *proto-board*, já na Figura 3 é ilustrado o medidor de energia elétrico didático montado em *proto-board*, na versão 2.0 será confeccionada a placa de circuito impresso.

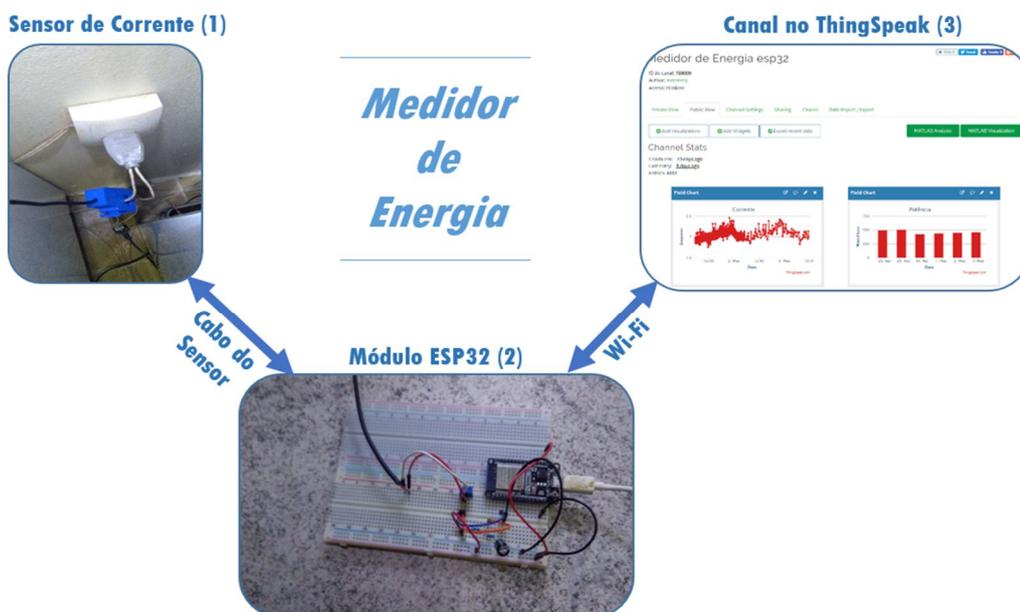
Os materiais utilizados para a montagem do protótipo somam um valor total de R\$ 96,80, o que confirma a possibilidade da criação de um medidor de energia inteligente a um preço baixo, quando comparado ao valor de um medidor de energia inteligente semelhante existente no mercado – o AEOTEC Energy Meter Samsung (em média R\$ 350,00).

Figura 2– Ligações entre o circuito de condicionamento e o microcontrolador ESP32.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 3 – Arquitetura de *hardware* e *software* do medidor didático.



Fonte: Autores, 2019.

Para o monitoramento das variáveis elétrica localmente está sendo desenvolvida duas plataformas: (A) Supervisor usando o ScadaBR (*software* livre), para supervisão em computador pessoal, sendo utilizado o padrão RS485 na comunicação *half-duplex*; (B) Aplicativo Bluetooth, para monitoramento e comando dos equipamentos da residência via aplicativo para dispositivos móveis, sendo utilizada redes sem fios limitado a 15 metros de distância (IEEE 802.15.4, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O protótipo desenvolvido recebe a medição de corrente enviada pelo sensor SCT e calcula a potência e o consumo do equipamento onde está instalado o medidor. Todo o monitoramento do processo é realizado remotamente através do ThingSpeak, que possibilita o monitoramento em tempo real dos dados (a página é atualizada a cada minuto), o envio diário do dados medidos para o *e-mail* do cliente e a exportação dos dados em formato de tabelas. Sendo assim, o microcontrolador Espressif Devkit ESP-WROOM-32 V1.0 se mostrou um *hardware* fundamental no sucesso do medidor de energia, apresenta baixo custo e comunicação Wi-fi e Bluetooth no mesmo microcontrolador e programação *open source* por meio da IDE Arduino, permitindo customização a critério do cliente para o medidor didático.

A Figura 4 ilustra uma visão geral do canal confeccionado usando a plataforma ThingSpeak, que recebe e disponibiliza os dados enviados pelo medidor de energia didático.

Figura 4 – Tela de monitoramento pela *Internet*.



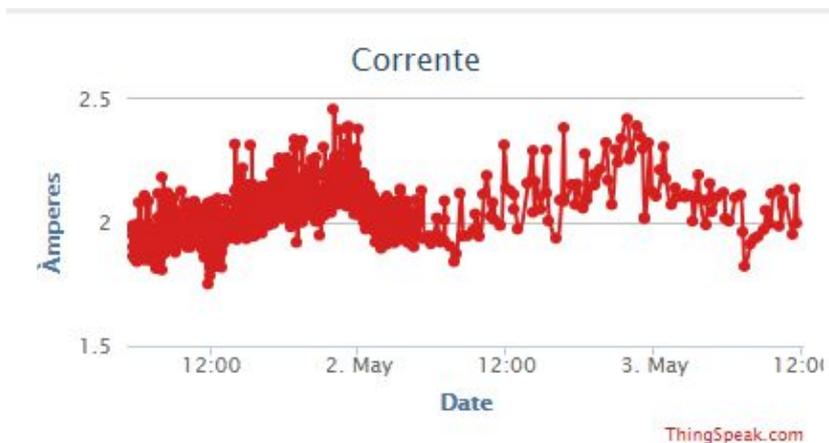
Fonte: Autores, 2019.

O experimento realizado consistiu no levantamento da curva de consumo semanal da geladeira na Sala dos Professores do Campus. O sensor de corrente permaneceu conectado à a geladeira doméstica que possui o compressor modelo, Tecumseh Tph 1380 220V 855Btu/h, durante um período de 7 dias. O protótipo envia a cada minuto o valor medido de corrente, por meio desta é calculado o valor de potência consumida a cada minuto. Os valores de corrente e potência são dispostos em gráficos gerados automaticamente pela plataforma ThingSpeak, permitindo ao usuário visualizar os valores, ajustar as escalas de cada gráfico individualmente, retirar medidas de média e mediana, e exportar o conteúdo para alguma extensão baseada no *software* MatLab para análises mais detalhadas.

O ThingSpeak possui apenas uma limitação: o tempo entre *upload* de dados deve ser de, no mínimo, 15 segundos. Se isso for desobedecido, os dados enviados fora deste intervalo de tempo serão ignorados ou não registrados (BERTOLETI, 2016). No experimento realizado os *uploads* foram feitos em intervalos de 60 segundos.

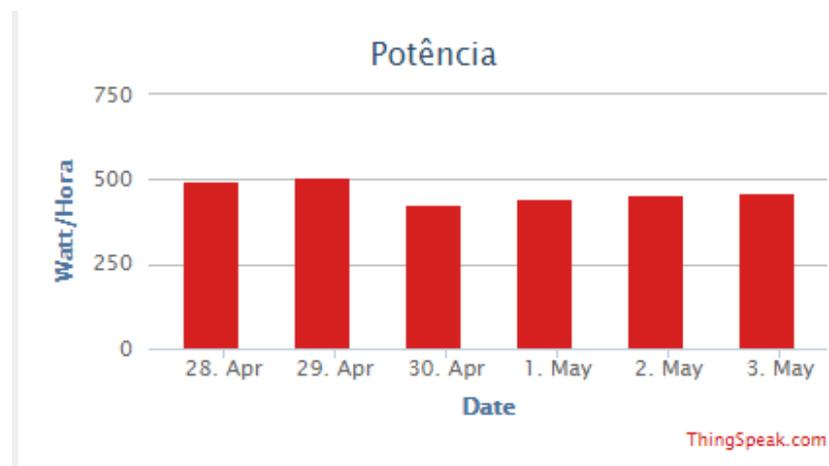
A Figura 5 ilustra a curva de consumo de corrente da geladeira durante um período de 24 horas, medida em amperes. O gráfico da Figura 6 apresenta o consumo diário (média diária) da geladeira medido em watt/hora, durante um período de 6 dias.

Figura 5 – Corrente elétrica (A) medida durante 24 horas.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 6 – Consumo médio de energia da geladeira durante 6 dias.



Fonte: Autores, 2019.

O protótipo do medidor de energia inteligente pode ser montado em qualquer localização que possua cobertura de uma rede Wi-Fi conectada à *internet*, disponibilizando com facilidade ao usuário de qualquer parte do mundo os dados obtidos em tempo real.

O sensor de corrente utilizado possui alta precisão, principalmente quando analisado a questão custo-benefício; porém não é de performance idêntica à um sensor profissional de alto desempenho e pode apresentar leves desvios nas medições. Para amenizar essa dificuldade, a comparação dos dados obtidos pelo medidor didático de baixo custo com dados obtidos pelo medidor profissional (AEOTEC Energy Meter) ajuda na calibração do protótipo, melhorando o desempenho do equipamento didático.

Na versão gratuita da ferramenta ThingSpeak há limitações de nove gráficos simultâneos por canal, sendo oito para as medições e o nono gráfico diz respeito ao ponto de localização do medidor (coordenadas de latitude, longitude e elevação). No canal criado existe uma seção chamada "*metadata*" onde é possível inserir informações que utilizem os dados medidos para gerar arquivos do tipo JSON, XML, CSV. A ferramenta permite ao administrador a inserção de um único vídeo do YouTube (por exemplo, o link no YouTube para apresentação do canal confeccionado) e a exportação do código fonte para a plataforma Github (nuvem de compartilhamento de códigos aberto na Web).

O ThingSpeak permite o detalhada das informações do canal para o usuário conectado à internet (descrição dos gráficos, descrição das telas, dos cálculos realizados). Todos os dados recebidos pela ferramenta de IoT podem ser exportados para o MS Excel (formato .csv) e para o Software MatLab (formato .m).

Ao programador da aplicação a ferramenta permite diversos recursos de customização nos gráficos medidos e disponibilizados pelo ThingSpeak (adicionar / remover títulos e subtítulos, ajuste de escala, ajuste de tempo, cálculo de estatísticas dos dados medidos, formato do gráfico disponibilizado – barra, coluna, linha e interpolação *spline* cúbica).

Além da supervisão remota dos dados, a plataforma ThingSpeak pode enviar comandos remotos para controlar a planta real (ligar, desligar, alterar o estado físico. Nesta situação o ThingSpeak funciona como um banco de dados que complementa a carência de memória do microcontrolador.

No protótipo confeccionado os dados são enviados para o ThingSpeak a cada minuto, junto com esta informação, o microcontrolador solicita a média do consumo do dia anterior, se a medição atual de corrente for superior à média recebida, o microcontrolador aciona um sinal sonoro para informar ao cliente que o consumo energético do equipamento ultrapassou a corrente media consumida pelo equipamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo construído e validado apresentou baixo custo, dados confiáveis e precisão nas medições; sendo uma ferramenta didática de apoio ao ensino-aprendizagem no ensino da Graduação em Engenharia Elétrica. O diferencial do produto está na supervisão remota dos dados medidos e na disponibilidade das medições para qualquer usuário conectado à *internet*, seja por computadores ou dispositivos móveis. O sistema apresentou baixo custo quando comparado com os modelos comerciais, apresentando boa precisão e robustez. O uso da plataforma ESP32 se mostra versátil para o desenvolvimento de equipamentos para uso acadêmico, residencial e comercial com baixo custo e alta confiabilidade dos dados medidos.

Como trabalhos futuros sugerem-se: (a) projetar e incorporar a medição de potência reativa; (b) projetar e incorporar a medição de fator de potência; (c) desenvolver o sistema de comando remoto dos eletrodomésticos caso seja detectado alguma anormalidade (por exemplo, surto de tensão, consumo acima da média); (d) explorar a capacidade do ESP32 na criação de um servidor Web; (e) desenvolvimento de aplicativo Bluetooth / Web para monitoramento via dispositivos móveis.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Pernambuco Campus Garanhuns.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2018.

MARTINS, A.R.S., ALVEAL, Carmem, *et al.* **Eficiência energética: integrando usos e reduzindo desperdícios**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999.

BERTOLETI, P. **Planta IoT com ESP8266 NodeMCU – Parte 1**. 2016. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/planta-iot-com-esp8266-nodemcu/>. Acesso em: 09 de maio de 2019.

THONSEN, A. **Medidor de corrente não invasivo com Arduino**. 2015. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>. Acesso em: 09 de maio de 2019.

IEEE STANDARDS. **IEEE 802.15.4: Bluetooth Technology**. New York, 2006.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW-COST DIDACTIC SMART ENERGY METER

Abstract: *The present work aims to design and implement a didactic low-cost smart energy meter with measuring, storing and monitoring capabilities to provide support to the area of Electrical Instrumentation education and for the consumer at home, real-time detailing of the electrical current and power consumed, measured by a low-cost hardware (Current sensor integrated to an ESP32 module and IoT analysis). The implementation of the smart meter provides the engagement of students from courses of technical and bachelor degree, allowing for the professional qualification in the area of electronic instrumentation and automation. The differential of this work is: (1) remote supervision of data; (2) low-cost; (3) low energy consumption by the prototype; (4) didactic features. The prototype measured the voltage and electrical current of a refrigerator for seven consecutive days with the disposal of data on the internet on the following electronic channel: <https://thingspeak.com/channels/769009>. The monitoring system showed itself reliable and efficient with the measurements allowing the supervision of the consumption as well as sending cellphone messages in case of a voltage surge*

Key words: *Prototype. Energy consumption. Low cost. Electrical Instrumentation.*