

MEDIDOR DE ENERGIA IOT COM INTEGRAÇÃO DO HARDWARE E MIDDLEWARE

ALLYSON F. M. BORGES,* DIEGO R. C. SILVA,* MARCELO B. NOGUEIRA,* MARCONI RODRIGUES*

**Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Nata, RN, Brasil*

Emails: allyson.borges.104@ufrn.edu.br, diego.cabral@ufrn.br,
marcelo.nogueira@ufrn.br, marconi.camara@ufrn.br

Abstract— Energy consumption management is a critical area in which IOT has much to offer. This work presents a low cost power and energy meter based on IOT with fast and bidirectional communications capabilities. It uses an external ADC capable of sampling several channels with high velocity. The system is equipped with relay modules to shut down the power, and visual and sound alert system. This allows power supply problem detection and preventive action both in industrial and residential networks. Experimental results validate the proposed system.

Keywords— Building and home automation, internet of things, power meter, ESP8266.

Resumo— O gerenciamento do consumo de energia é uma área crítica na qual o uso de IoT pode contribuir. Este trabalho apresenta um medidor de energia de baixo custo baseado em IoT, com comunicação rápida e bidirecional. O medidor utiliza um ADC externo capaz de amostrar diversos canais com uma alta velocidade. O sistema conta com módulos de desligamento da rede elétrica, sistema de alerta visual e sonoro, permitindo a detecção de problemas no fornecimento de energia e acionamento preventivo em redes industriais e residenciais. Os resultados experimentais validam o sistema proposto.

Palavras-chave— Automação predial e residencial, internet das coisas, medição de potência, ESP8266.

1 Introdução

Com o aumento da população e poluição nas cidades, a gestão de energia é uma das chaves para a realização de cidades inteligentes, lidando com problemas atrelados a urbanização e industrialização. Para proporcionar políticas de concientização do consumo de energia e redução de desperdícios em casas, indústrias ou cidades, o gestor precisa de ferramentas que permitam mensurar os parâmetros de energia na rede elétrica, quais os horários em que o consumo é maior, identificar erros em instalações elétricas e propor soluções para o fornecimento correto da energia.

Em Ejaz et al. (2017), os autores descrevem que o gerenciamento do consumo de energia é uma área crítica na qual o uso do IoT (*Internet of Things*) pode contribuir. O IoT consiste em dispositivos compostos por sensores e/ou atuadores realizando troca de informações via internet. Os sensores são usados para coletar informações em tempo real e monitorar operações em diversos cenários. Em contrapartida, os atuadores podem agir de modo a alterar as características do dispositivo ou do ambiente em que os sensores estão inseridos. Silva et al. (2019) e Zhang et al. (2021) apresentam arquiteturas IoT que possibilitam processar as informações provenientes dos sensores e controlar os dispositivos remotamente por meio de um *middleware*.

Uma área derivada da IoT é a Internet de Energia (EI), que consiste no controle e gestão inteligente de energia (Kabalci and Ali (2019)). Com os avanços atuais é possível ter informações imediatas e precisas do uso de energia, gerando

uma grande quantidade de dados, que podem ser processados utilizando ferramentas de *Big Data*. Para gerenciar o consumo e os parâmetros da energia fornecida, se faz necessário, obviamente, de um medidor de energia. Kabalci (2016) recomenda que o medidor precisa ter algumas funções elementares, tais como: potência reativa, potência máxima de fornecimento, fator de potência, frequência e fasores de tensão e corrente.

Com base no contexto apresentado, este artigo tem como objetivo apresentar a integração *hardware* com *middleware* de um medidor de energia IoT de baixo custo apresentado por Souza et al. (2020), implementando funções do controle da rede com uso de relé e funções de aviso visual e sonoro. Este medidor tem a capacidade de medir vários circuitos de energia sem o aumento do custo no sistema, dependendo apenas do número de sensores. Além disso, possui uma comunicação bi-direcional, com *middleware* IoT, para que o sistema envie e receba comandos do dispositivo.

Alguns trabalhos são apresentados na literatura sobre este tema abordado. Em Aboelmaged et al. (2017) os autores propõem um medidor de energia que utiliza conexão *bluetooth* para importar os dados do dispositivo para um aplicativo *android*. Já em Prathik et al. (2018), utiliza-se um microcontrolador com módulo *Wi-Fi* e um módulo GSM (*Global System for Mobile Communication*) para que o medidor tenha o seu próprio ponto de acesso à internet e também requer de um sistemas de aviso visual para informar o consumo e controle do desligamento da rede. Tamkittikhun et al. (2015) abordou o uso de 2 Conversores Analógico Digital (ADCs) para coletar dados de ten-

são e corrente para eliminar o problema de dados serem adquiridos em momentos diferentes.

A principal contribuição deste trabalho, em relação à literatura, é o fato do sistema utilizar apenas um microcontrolador para o processamento e um ADC para a coleta de dados simultâneos com 8 canais. Sendo assim, o sistema é capaz de medir diferentes circuitos de forma isolada ou o sistema completo. A integração do *hardware* com o *middleware* se dá através de uma comunicação *Wi-Fi*, com os protocolos MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e *Websocket*, e gerenciada através de uma interface *web*. Isso possibilita uma comunicação rápida e bidirecional, podendo ser gerenciado remotamente por qualquer dispositivo com acesso a internet. O sistema proposto será capaz de desligar a rede remotamente com o uso de relés e um sistema de aviso. Isto é importante para indústrias e residências, pois permite o acompanhamento do consumo, desligar a rede por ter esquecido um equipamento ligado, desligar algum dispositivo com defeito e entre outras ações de prevenção.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a proposta do medidor de energia, descrevendo a sua construção e os componentes utilizados, *firmware* e a integração do sistema com o *middleware*. A Seção 3 mostra os resultados experimentais realizados com o medidor e a Seção 4 as conclusões sobre o sistema.

2 Metodologia

Nesta seção será descrito o medidor de energia baseado em IoT com integração com o *middleware*, satisfazendo os requisitos apresentados na seção 1. O desenvolvimento do dispositivo foi dividido em blocos com base no fluxo de dados através do sistema, classificado como: arquitetura do *hardware*, conversor analógico digital, processamentos dos dados (cálculo dos parâmetros) e transmissão para o *middleware* IoT.

A Figura 1 mostra o diagrama do funcionamento do medidor de um circuito monofásico. Os sensores de tensão e corrente coletam os dados, que se conecta ao ADC. O microcontrolador lê os dados do ADC e envia os parâmetros de energia para *middleware* via *Wi-Fi*. O usuário pode visualizar as informações via internet. O *hardware* e o *middleware* podem acionar o módulo relé e o sistema de alerta visual e sonoro.

2.1 Arquitetura do Hardware

A arquitetura do *hardware* foi escolhida a partir dos requisitos, os recursos disponíveis, preço e a viabilidade de uso com o microcontrolador para o desenvolvimento do projeto.

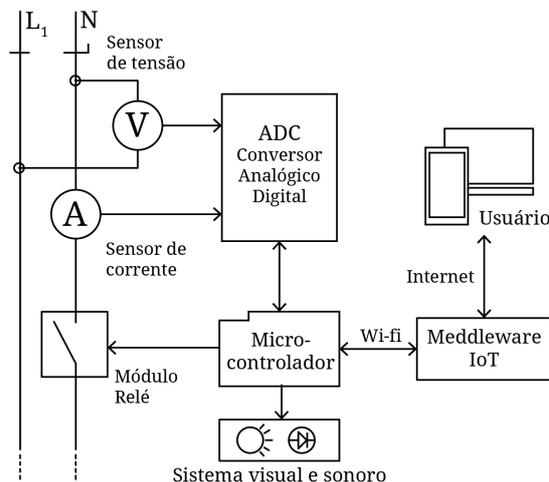


Figura 1: Diagrama do medidor IoT em um circuito monofásico. Os sensores se conectam com ADC. O microcontrolador lê os dados do ADC e envia para *middleware*. O *hardware* e *middleware* podem acionar o módulo relé e o sistema visual e sonoro.

2.1.1 Microcontrolador

É o componente fundamental para o desenvolvimento. Ele é responsável pela leitura, processamento e transmissão dos dados. O microcontrolador escolhido foi o ESP8266 *Wemos d1 mini*, por ter um módulo de *Wi-Fi* integrado, sendo bastante utilizado em dispositivos IoT, ter um bom processamento, um tamanho pequeno e ser de baixo custo.

2.1.2 Sensores

Para o desenvolvimento de um medidor de energia é necessário calcular o consumo. Para isso temos dois parâmetros de análise: tensão e corrente. O sensor escolhido para a medição de tensão alternada foi o ZMPT101B. Já para a corrente foi escolhido o SCT-013, por ser não invasivo e utilizar a indução como base para a medição. Para vários circuitos em um quadro de energia, é necessário o uso de um sensor de corrente para cada circuito.

2.1.3 Módulo relé e Sistema de alerta

Para realizar funções de controle foi utilizado um módulo relé capaz de habilitar a passagem de energia entre o circuito. Com isso, permitindo que o circuito deixe de funcionar para não danificar algum equipamento ou não ultrapassar o valor de consumo. O sistema de alerta visual e sonoro pode ser utilizado em aplicações industriais, pois alguns equipamentos devem possuir esta sinalização para alertar os trabalhadores e terceiros sobre os riscos que estão expostos. O sistema inicialmente foi composto por um módulo buzzer e um led RGB, para testar a sua funcionalidade, podendo

ser substituído a qualquer hora por equipamento mais adequado à utilização em aplicações específicas. O dispositivo de alarme pode ser habilitado no microcontrolador de acordo com a necessidade de uso, a partir dos parâmetros calculados de potência (Seção 2.3).

2.2 Conversor analógico digital (ADC)

Como o microcontrolador utilizado é o ESP8266, ele possui apenas uma porta analógica, impossibilitando a leitura de diversos sensores. Uma das estratégias utilizadas para este caso é o uso de expansores de portas analógicas do microcontrolador ou um ADC com diversos canais, esses componentes possuem geralmente protocolos de comunicação I2C (*Inter-Integrated Circuit*) ou SPI (*Serial Peripheral Interface*). A diferença desses protocolos consiste na velocidade da comunicação, o I2C é um barramento para leitura de baixa velocidade, enquanto o SPI suporta uma comunicação *Full-Duplex*, que significa que os dispositivos envolvidos podem enviar e receber dados simultaneamente.

Para tanto foi selecionado o módulo ADC ADS130E08 externo, que possibilita o uso do protocolo SPI na sua comunicação e possui 8 canais independentes. Para a leitura de tensão e corrente foi utilizado o método recomendado pelo fabricante (Texas Instruments (2012)), o *Single-Ended*. Desta forma, uma conexão carrega a tensão variável, que representa o sinal, e a outra conexão conecta a uma tensão de referência.

Em funcionamento, o dispositivo é capaz de fazer com que o microcontrolador leia e envie dados ao ADC, processando esses dados e enviando para o *middleware*. A comunicação com o conversor foi realizada a partir da criação de um *driver firmware*, permitindo alterar diversos parâmetros de configurações como, por exemplo, ganho do canal, funções de rotina para auxiliar na calibração, dentre outros.

O conversor utilizado tem uma taxa de amostragem de 8 kps (8000 amostras por segundo, utilizando um oscilador interno do ADS130E08 a 2.048 MHz), o que permite ter um período de amostra de 125 microsegundos. Considerando a frequência de 60 Hz da rede elétrica, podemos adquirir 133 amostras por ciclo. Para calcular os parâmetros da potência utilizamos um total de 24 ciclos, totalizando 3200 amostras.

2.3 Medição de potência

Satisfazendo os requisitos apresentados na seção 1, as funções elementares que o medidor precisa ser capaz de fornecer, tais como: potência reativa, potência máxima de fornecimento, fator de potência, frequência e fasores de tensão e corrente.

As equações 1 e 2 apresentam o cálculo da tensão e corrente em valor eficaz, respectivamente,

onde $V[i]$ e $I[i]$ significam a i -ésima tensão e a i -ésima corrente amostrada, sendo N o número de amostras ($N = 3200$, descrito em 2.2). Os demais cálculos são os parâmetros de potência, sendo eles: potência aparente (3), potência ativa (4) e fator de potência (5).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V[i]^2}{N}} \quad (1)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N I[i]^2}{N}} \quad (2)$$

$$S = V_{rms} \times I_{rms} \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V[i] \times I[i] \quad (4)$$

$$FP = \frac{P}{S} \quad (5)$$

2.4 Integração Hardware com Middleware IoT

Depois que os dados foram coletados pelos sensores e processados pelo microcontrolador, é necessário transmitir em uma interface *Web*, para que os usuários possam controlar e adquirir os dados de forma remota. Para tal utilizamos a plataforma IoT desenvolvida no mesmo laboratório por Costa et al. (2018) e Silva et al. (2019) chamado de *Smart Automation using Internet of Things (SAIOT)*. Esta plataforma é compatível com diversos protocolos de comunicação, tais como: *HTTP*, *Websocket*, *MQTT* e *LoRaWAN*. O SAIOT permite a visualizações dos valores dos sensores em gráficos com diversos filtros, exportação dos dados e controladores virtuais.

A integração do *hardware* com o *middleware* utilizado, se dá a partir do gerenciamento do dispositivo, com o uso dos controladores virtuais que são responsáveis por enviar valores no formato *string* para serem processados via uma função no microcontrolador. Assim, possibilitando incrementar diversas funções de acionamento na lógica de programação. O *middleware* controla o sistema de forma paralela com a rotina do *hardware*. A Figura 2 apresenta o fluxograma com a rotina do sistema. Inicialmente é realizada a comunicação com SAIOT. Em seguida, os parâmetros de potência são calculados e enviados para o *middleware*, onde podem ser visualizados pelos usuários ou utilizados para acionar controladores virtuais. O acionamento do sistema de alerta é feito pelo *hardware* ou *middleware* a partir dos controladores virtuais.

O diagrama da Figura 3 apresenta o funcionamento completo do sistema, desde a aquisição de dados até a comunicação com o *middleware*. O microcontrolador inicia a comunicação com o *middleware*, configura os controladores virtuais e realiza as configurações iniciais do ADS130E08

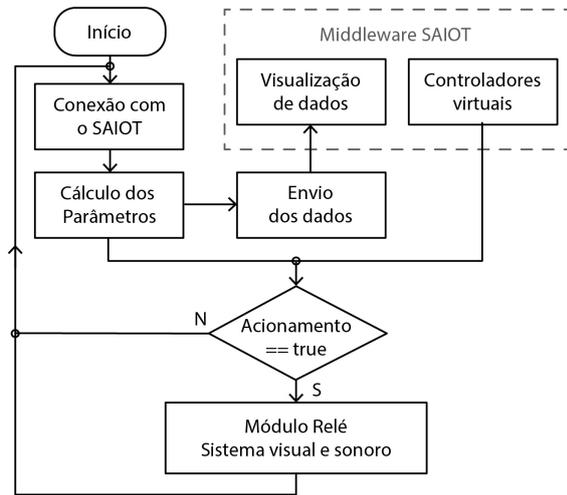


Figura 2: Fluxograma do sistema. Cálculos dos parâmetros, envio dos dados para o *middleware* e acionamento pelo *hardware* e pelos controladores virtuais.

com o protocolo SPI e o uso do driver *firmware* ADS130E08, que consiste em parâmetros de ganhos de canais, calibração e funções de rotina. Após essas etapas iniciais, a função principal entra em ação, que consiste na lógica de programação apresentado no fluxograma anteriormente (Figura 2). O *middleware* SAIOT utiliza os protocolos MQTT e *WebSocket* para comunicação via *Wi-Fi* com o microcontrolador, *send data* e *callback* são respectivamente as funções de envio de dados para o *middleware* e envio dos valores dos controladores virtuais para serem processados pelo microcontrolador.

3 Resultados

Nesta seção apresentaremos os resultados provenientes do circuito eletrônico e da realização dos experimentos. O medidor de energia IoT foi instalado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) medindo a potência consumida e fator de potência dos testes realizados no laboratório.

3.1 Hardware

A figura 4 mostra o circuito finalizado com os componentes e uma caixa com impressão 3D e o uso de um LCD para transmitir as informações de teste. E o diagrama na figura 5 apresenta o circuito com as configurações necessárias para utilizar o ADS130E08 e o microcontrolador ESP8266, as demais conexões são utilizadas a partir do *Datasheet* (Texas Instruments (2012)) no circuito *Single-Supply Operation*. Para tanto foi utilizado um gerador de *offset* (B) para não utilizar valores negativos na medição, um filtro

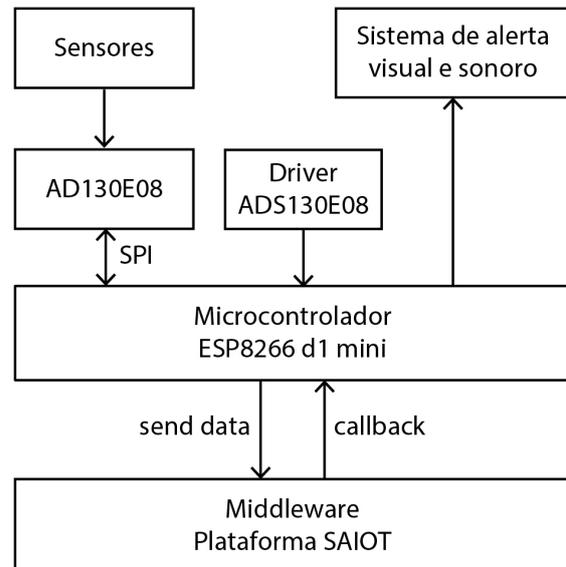


Figura 3: Diagrama do funcionamento. Componentes do *hardware*, comunicação do ADS130E08 e fluxo de processamento do microcontrolador. Driver *firmware* do ADS130E08 e comunicação com o *middleware* IoT e as suas funções de controle e envio de dados.

anti-aliasing (D) para cada entrada do sensor (o J representa o j-ésimo sensor para o canal, variando de 1 até 8). Foi utilizado uma fonte de alimentação de 5 V (*Hi-Link*) para alimentação do microcontrolador e os demais componentes.

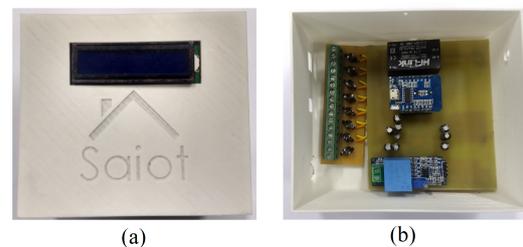


Figura 4: Placa do circuito do medidor de energia IoT com os componentes.

3.2 Integração Hardware com Middleware IoT

Foi utilizando o *middleware* SAIOT descrito na metodologia para integrar o *Hardware* e o *Middleware*. O dispositivo foi cadastrado na plataforma (Figura 6) e foram adicionados a visualização dos dados de 3 circuitos, um sensor de tensão geral e 3 sensores de corrente, o cálculo da potência e fator de potência em cada circuito.

Além dos sensores de tensão e corrente, foram adicionados controladores virtuais, para configurar como o medidor envia os dados, e controladores para o módulo relé e o sistema de alerta visual

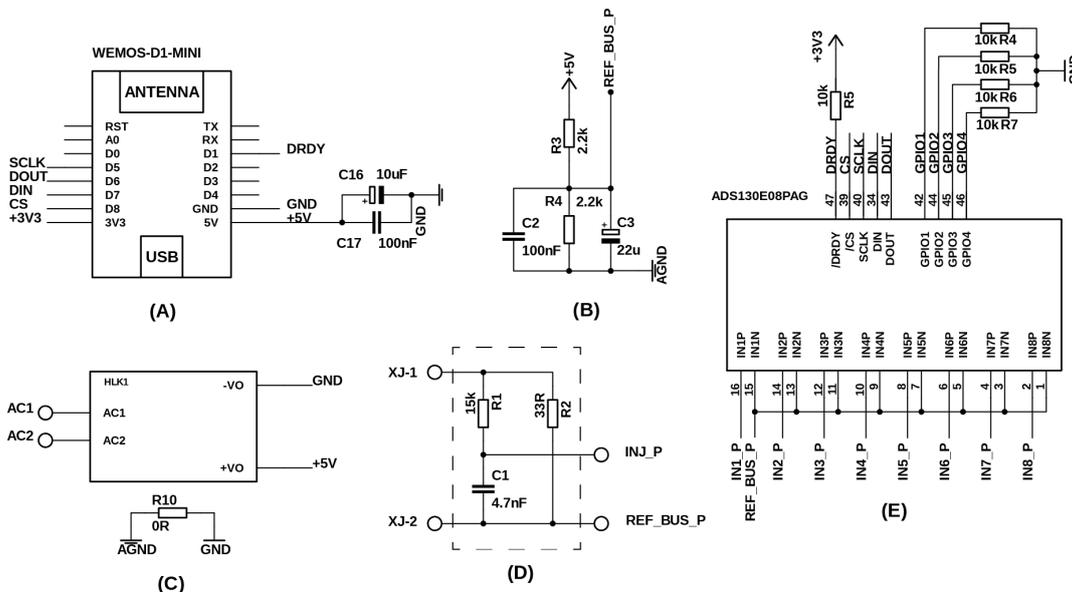


Figura 5: Circuito integrado do sistema. A) ESP8266; B) Gerador de *offset*; C) *Hi-Link* 5V; D) Filtro *anti-aliasing* com resistor shunt e E) Configuração do ADS130E08.

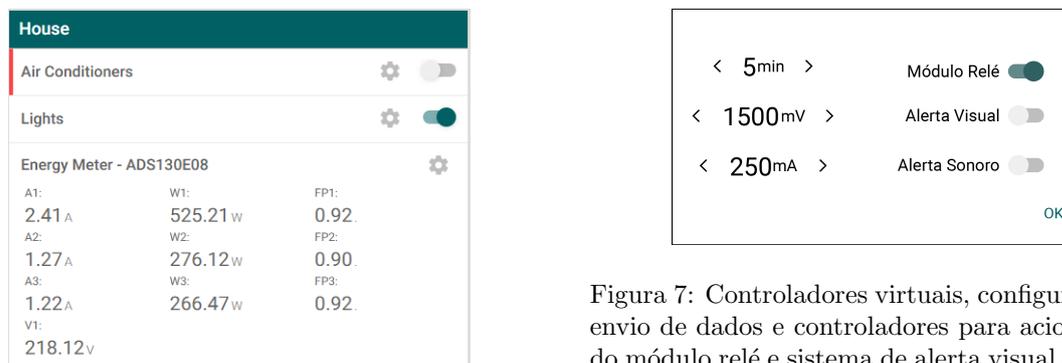


Figura 6: Tela do SAIOT com os últimos valores de tensão corrente de 3 circuitos independentes e valor da potência e fator de potência de cada circuito.

e sonoro. O primeiro valor da coluna esquerda da figura 7 indica o período em que o medidor enviará os dados. Para este caso, como valor padrão de envio foi denifido a cada 5 minutos o medidor enviará um conjunto de dados novos, este valor do tempo de envio pode ser alterado. A segunda e terceira são *deadbands* para medição de tensão e corrente. Desta forma, se o valor da medição ultrapassar os valores configuráveis de 1500 mV ou 250 mA, o medidor irá enviar os dados independente de ter atingido o tempo de envio configurado anteriormente. A coluna da direita são os controladores tipos chaves para acionar o módulo relé e o sistema de alerta visual e sonoro.

Com o uso do *middleware* é possível ver os valores em função do tempo (Figura 8), escolher a partir dos parâmetros calculados, o período a ser mostrado e o formato do gráfico. Se necessário, o usuário também pode exportar os dados para

análise dos dados.

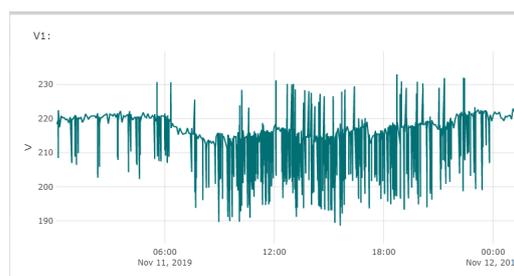


Figura 8: Histórico da tensão em função do tempo. O período 1 dia de experimentos.

3.3 Testes para os experimentos

Para testar a placa do circuito desenvolvida e o seu comportamento com uma carga real, o medidor foi instalado no Laboratório de Informática Industrial localizados na UFRN. O medidor foi conectado a dois interruptores de energia controlando cada um deles lâmpadas de 9x32W. Neste teste foram usando 4 canais, com os sensores de

tensão no canal 1 e 3 sensores de correntes nos canais 2, 3 e 4. A fim de comparação e validação a consistência dos dados, utilizamos um medidor de corrente externo ao sistema (amperímetro), o valor esperado para o sensor de corrente 3, era de 1,31 A, como mostrado na figura 6, manteve um valor constante com um erro relativo menor que 7%, esse erro pode ser amenizado com a calibração adequada dos sensores em comparação ao externo. O fator de potência informado pelo fabricante nos equipamentos testados utilizados foi de 0,96, enquanto o medidor mediu 0,92, um erro relativo de 4%.

4 Conclusão

O presente artigo apresentou um medidor de energia baseado em IoT que seja capaz de medir vários circuitos, cálculos de parâmetros de energia, comunicação rápida e bidirecional, e com integração do *hardware* e *middleware* para controle de envio de dados e acionamento do módulo relé e o sistema de alerta visual e sonoro.

A solução proposta foi implementada e validada medindo a potência em uma sala de aula localizada na UFRN, provando a sua eficácia e mostrando os resultados online sobre tensão e corrente, consumo de energia e o fator de potência, podendo ser acionado remotamente com o módulo relé e o sistema de alerta, provando a sua comunicação bidirecional.

O protótipo do medidor de energia proposto neste artigo, capaz de medir 7 circuitos de energia, está avaliado em R\$ 310,00. Como trabalho futuro, propomos a configuração da programação do microcontrolador a partir do *middleware*, com isso podendo alterar funções e cálculos de novos parâmetros.

5 Agradecimentos

Agradecemos à PROPESQ e à ECT pelo apoio a este projeto com fornecimento de assistência financeira.

Referências

- Aboelmaed, M., Abdelghani, Y. and Abd El Ghany, M. A. (2017). Wireless iot based metering system for energy efficient smart cities, *2017 29th International Conference on Microelectronics (ICM)*, pp. 1–4.
- Costa, J., Araújo, D., Silva, D. R. C., Nogueira, M. B. and Rodrigues, M. C. (2018). Home automation architecture based on iot technologies, *2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT*, pp. 63–67.
- Ejaz, W., Naeem, M., Shahid, A., Anpalagan, A. and Jo, M. (2017). Efficient energy management for the internet of things in smart cities, *IEEE Communications Magazine* **55**(1): 84–91.
- Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **57**: 302–318.
- Kabalci, Y. and Ali, M. (2019). Energy internet: A novel vision for next-generation smart grid communications, *2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*, pp. 96–100.
- Prathik, M., Anitha, K. and Anitha, V. (2018). Smart energy meter surveillance using iot, *2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, pp. 186–189.
- Silva, D. R. C., Nogueira, M. B., Rodrigues, M. C., Costa, J. S., Silveira, D. V. A. and Oliveira, G. M. B. (2019). A concrete architecture for smart solutions based on iot technologies, *IEEE Instrumentation Measurement Magazine* **22**(2): 52–59.
- Souza, W. W. V., Ali, M. S. A., Borges, A. F. M., Oliveira, J. P. P., Silva, D. R. C., Nogueira, M. B. and Rodrigues, M. C. (2020). Development of an energy meter based on iot, *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 IoT*, pp. 241–244.
- Tamkittikhun, N., Tantidham, T. and Intakot, P. (2015). Ac power meter design based on arduino: Multichannel single-phase approach, *2015 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, pp. 1–5.
- Texas Instruments (2012). Low-cost, 8-channel, integrated analog front-end for metering applications, ads130e08 datasheet.
- Zhang, J., Ma, M., Wang, P. and Dong Sun, X. (2021). Middleware for the internet of things: A survey on requirements, enabling technologies, and solutions, *Journal of Systems Architecture* **117**: 102098.