

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

Desenvolvimento de um dispositivo para o monitoramento de parâmetros de cargas elétricas utilizando o protocolo MQTT

GUILHERME SILVA ELIAS¹, PABLO RODRIGO DE SOUZA²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Piracicaba, guilherme.elias@ifsp.edu.br

² Professor, IFSP, Campus Piracicaba, pablo@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.03.03-0 Circuitos Eletrônicos

RESUMO: O crescimento da população mundial, bem como o desenvolvimento tecnológico da sociedade moderna resultam no aumento da demanda por energia elétrica. Atualmente, há vários projetos sendo executados para aumentar a capacidade de geração, principalmente a partir de fontes de energias renováveis e não poluentes. O desenvolvimento de sistemas que visam otimizar o uso da energia elétrica, minimizando seu desperdício e aumentando a eficiência das instalações, também corrobora para garantir o suprimento para atender a demanda. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para monitorar os parâmetros de uma carga elétrica baseado em tecnologia de internet das coisas. O dispositivo transmite os dados para a internet por meio da plataforma de desenvolvimento Esp32 atuando como um cliente MQTT. Os dados são visualizados em um computador por meio do software MQTT.fx que atua como um cliente MQTT. Os resultados experimentais demonstram que foi possível monitorar a tensão, corrente, potências ativa e aparente e o fator de potência de uma carga com erros menores que 7%.

PALAVRAS-CHAVE: Esp32; protocolo MQTT; eficiência energética; internet das coisas.

Device development for monitoring electrical load parameters using MQTT protocol

ABSTRACT: Population growth, as well as the technological development of the modern society, result in the increase of the demand for electric energy. Currently, there are several projects being carried out to increase generation capacity, mainly from renewable and non-polluting energy sources. The development of systems that aim to optimize the use of electric energy, minimizing its waste and increasing the efficiency of the facilities, also contributes to guaranteeing the supply to meet the demand. This work presents the development of a device to monitor the parameters of an electrical load based on internet of things technology. The device transmits the data to the internet through the Esp32 development platform acting as an MQTT client. The data is visualized on a computer using the MQTT.fx software that acts as an MQTT client. The experimental results demonstrate that it was possible to monitor the voltage, current, active and apparent powers and the power factor of a load with errors smaller than 7%.

KEYWORDS: Esp32; MQTT protocol; energy efficiency; internet of things.

INTRODUÇÃO

O monitoramento de grandezas elétricas, tais como, tensão, corrente, potência e energia consumida por cargas, é de grande utilidade para diversas aplicações, tais como, projetos de eficiência energética, análise da qualidade de energia, sistemas de monitoramento da integridade de máquinas elétricas, entre

outros. A energia elétrica é um insumo indispensável na sociedade moderna. O aumento da quantidade de dispositivos utilizados nas diversas tarefas cotidianas e do número de usuários, tem aumentado a demanda. A disponibilidade de indicadores da energia consumida pelos equipamentos em uma instalação, bem como o custo dessa energia podem auxiliar o consumidor a adotar medidas para reduzir o consumo. Recentemente, a área de Internet das Coisas se tornou o estado da arte no desenvolvimento de soluções tecnológicas, devido a disponibilidade de plataformas para projetos de sistemas embarcados com conexão Wi-Fi e o aumento do acesso à Internet. Wasoontarajoen et al. (2017), desenvolveram um medidor de energia de baixo custo, para medir corrente, tensão, potência ativa e energia. Os dados são enviados para o serviço de nuvem Thingspeak, a partir do qual podem ser acessados por meio de um browser de internet. Sen e Kul (2017), desenvolveram um sistema para o monitoramento de parâmetros, tais como, temperatura, tensão, corrente, torque, entre outros, de motores de indução monofásicos e trifásicos. Os dados são transmitidos pela internet para serem processados por um software para auxiliar na programação da manutenção preditiva. A potência elétrica consumida pela carga pode ser obtida por meio da medição da tensão e corrente elétrica da carga. Neste artigo será apresentado o desenvolvimento de um sistema que mede tensão e corrente elétrica de uma carga e transmite os parâmetros elétricos do consumo de energia, via internet, para serem processados e visualizados em um computador.

MATERIAIS E MÉTODOS

Num sistema digital microcontrolado, os sinais analógicos gerados pelos sensores de tensão e corrente são convertidos para o formato digital por meio de um conversor analógico/digital (A/D). A amplitude do sinal é amostrada e depois quantizada em uma frequência de amostragem de no mínimo 2 vezes a frequência máxima contida no sinal. A partir das amostras dos sinais instantâneos, os valores eficazes da tensão (V_{rms}) e corrente (I_{rms}), potência ativa (P) e aparente (S), o fator de potência (FP) podem ser calculados da seguinte forma:

$$V_{rms} = A_v * \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{v[n]^2}{N}} \quad (1)$$

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

$$P = A_v * A_i * \sum_{n=1}^N \frac{v[n] * i[n]}{N} \quad (3)$$

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (4)$$

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

Onde n se refere a n -ésima amostra do sinal e N é o número total de amostras utilizadas no cálculo do valor eficaz e da potência ativa. A_v e A_i são os ganhos dos circuitos de condicionamento dos sensores.

A Figura 1 mostra os principais componentes que compõe o sistema de monitoramento de cargas elétricas. A corrente elétrica foi medida pelo sensor de efeito Hall ACS712 20A. O sensor de tensão alternada ZMPT101B foi utilizado para medir a tensão na carga. Os sinais analógicos nas saídas desses sensores foram digitalizados pelo conversor A/D do microcontrolador ATmega328P da placa de desenvolvimento Arduino Uno. Esse microcontrolador possui um conversor A/D de 10bits com seis canais multiplexados, e uma taxa de amostragem de aproximadamente 9,6ksps.

Para calcular os valores eficazes da tensão e corrente, bem como as potências ativa, aparente e o fator de potência, foram obtidos 75 pontos dos sinais instantâneos. O controle do intervalo de tempo entre as medidas foi implementado por meio da interrupção do TMR1 do microcontrolador. Como a

frequência da tensão e corrente é 60Hz, os sinais foram amostrados com uma taxa de aproximadamente 4,5ksps. Definida a taxa de amostragem, um filtro antialiasing foi dimensionado com frequência de corte de aproximadamente 600Hz para limitar a largura de banda dos sinais amostrados pelo conversor A/D. O circuito eletrônico do filtro foi projetado com o auxílio da ferramenta analog filter wizard (Analog Devices, 2021) disponibilizada pela Analog Devices.

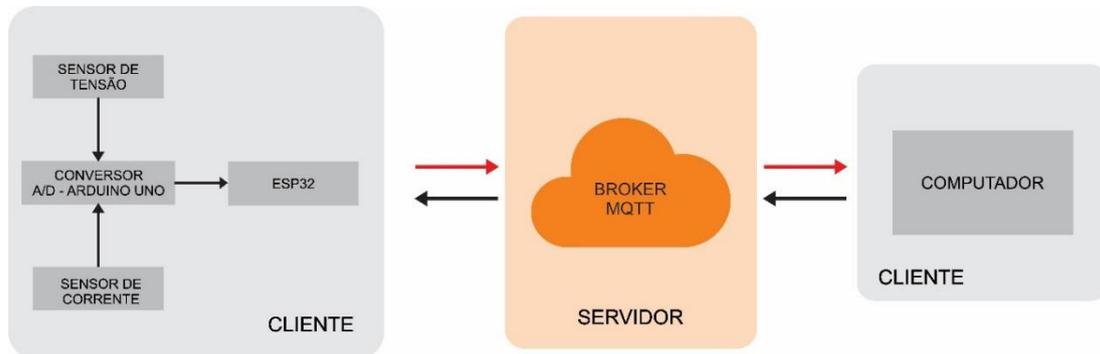


Figura 1. Diagrama do sistema de monitoramento dos parâmetros de uma carga elétrica

A comunicação entre o monitor dos parâmetros elétricos da carga e o computador foi feita por meio do protocolo de transporte de mensagens MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Este protocolo é adequado para aplicações que envolvem comunicação Machine to Machine e Internet das Coisas, pois não requer hardware com grande poder de processamento para ser executado, sua implementação é relativamente simples e não necessita de alta largura de banda para transferência de dados (HiveMQ, 2020). A troca de mensagens deste protocolo é do tipo publish/subscriber (publica/assina). A rede de comunicação é formada por um servidor, chamado de broker que controla o fluxo de informações entre os demais elementos da rede chamados de clientes. Neste projeto, foi utilizado o broker público da empresa HiveMQ. Tanto o monitor quanto o computador atuam como clientes no protocolo MQTT, sendo que o monitor publica os parâmetros elétricos da carga em tópicos no broker e o computador assina esses tópicos para acessar os dados publicados.

O cliente correspondente ao monitor de parâmetros elétricos da carga foi implementado por meio da placa de desenvolvimento Esp32. Os dados processados pelo Arduino Uno foram transmitidos para o Esp32 via interface serial USART. As bibliotecas WiFi.h e PubSubClient.h foram utilizadas para estabelecer a conexão com a Internet, via WiFi, e com o broker MQTT. Os dados transmitidos pelo monitor foram acessados em um computador utilizando o software MQTT.fx.

As tabelas 1 e 2 mostram os pinos utilizados e suas respectivas funções no sistema.

Tabela 1. Descrição dos pinos da placa Arduino Uno

Pino	Função
Rx	Comunicação serial com Esp32
Tx	Comunicação serial com Esp32
A0	Leitura dos sinais do sensor de tensão
A1	Leitura dos sinais do sensor de corrente

Tabela 2. Descrição dos pinos da placa Esp32

Pino	Número do GPIO	Função
Rx2	16	Comunicação serial com Esp32
Tx2	17	Comunicação serial com Esp32

A Figura 2 mostra o esquemático do circuito do monitor de parâmetros elétricos da carga.

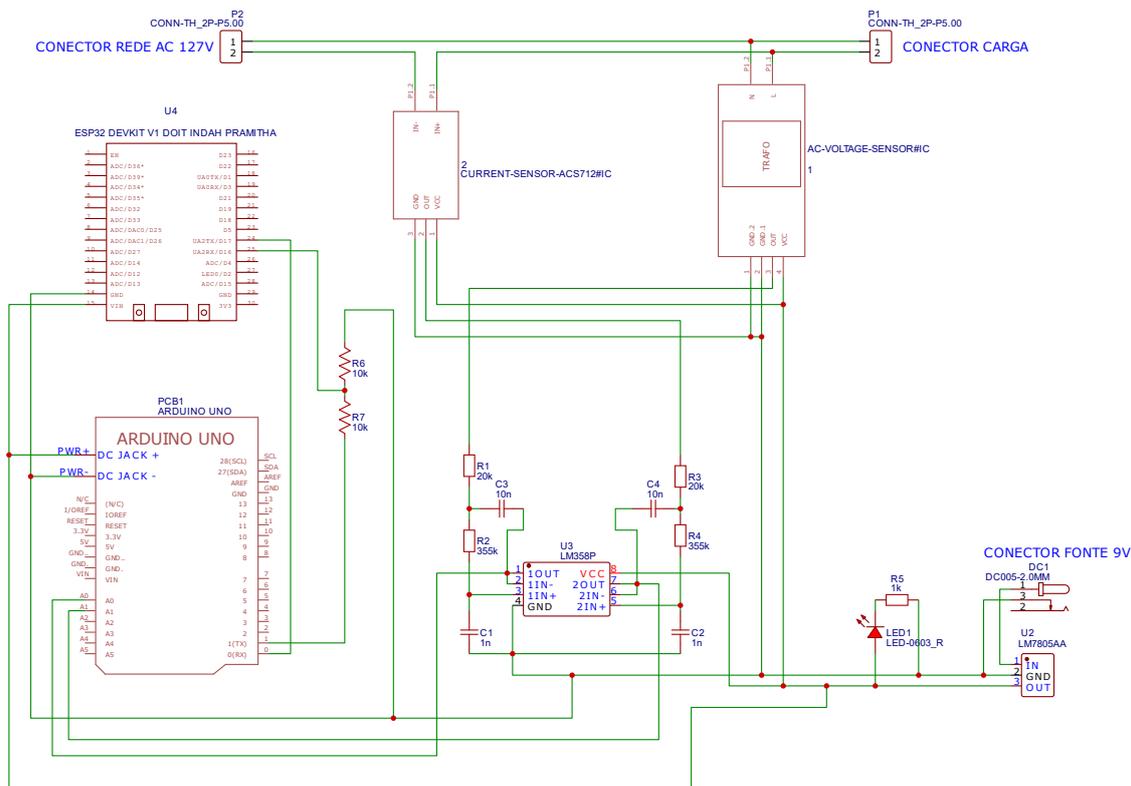


Figura 2 – Esquema elétrico do sistema de monitoramento

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter a relação entre a tensão e corrente da carga e os sinais medidos pelos sensores, foram feitos ensaios para obter a curva de calibração dos sensores. No caso do sensor de tensão, foram medidos os valores eficazes na saída do sensor, variando a tensão aplicada em uma carga de 50Ω/6kW entre 50 e 140 V com intervalo de 10V. Para o sensor de corrente, foram medidos os valores eficazes da tensão na saída do sensor, variando a corrente na mesma carga entre 0,5 e 4A com intervalo de 0,5A. A Figura 3 mostra as curvas obtidas e as equações resultantes dos ajustes lineares.

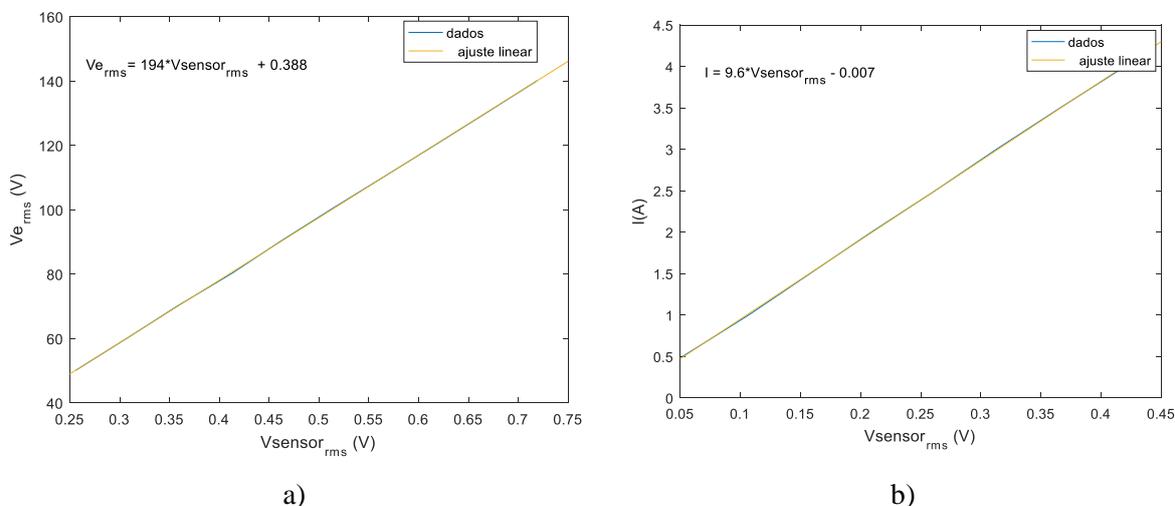


Figura 3. Curvas de calibração dos sensores a) tensão b) corrente

A Figura 4 mostra os parâmetros elétricos de uma carga acessados por meio do MQTT.fx instalado em um computador. Os valores da tensão e corrente apresentaram erro de 5,01% e 6,73% comparados com os valores medidos com um multímetro comercial.

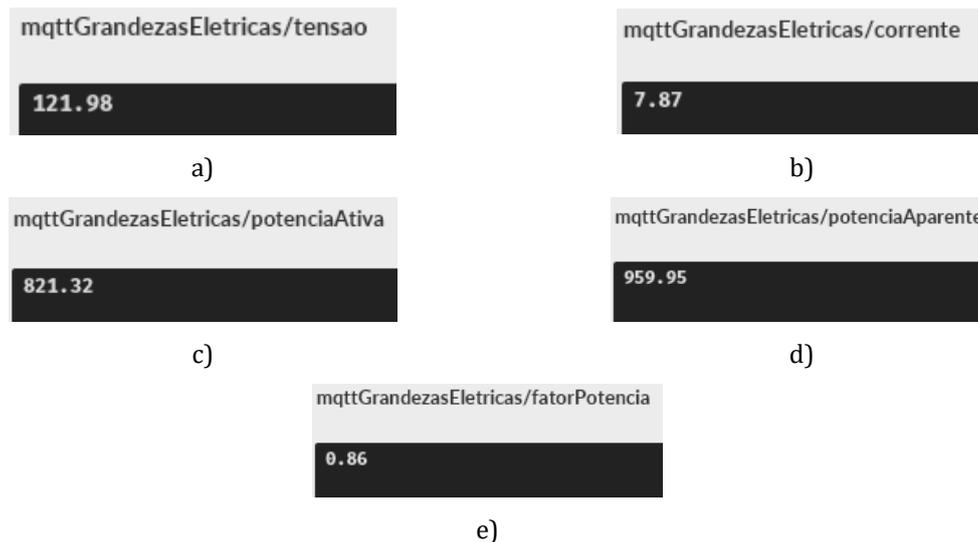


Figura 4. Parâmetros elétricos de uma carga acessados por meio do MQTT.fx, a) tensão, b) corrente, c) potência ativa, d) potência aparente e e) fator de potência

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema para o monitoramento remoto de cargas elétricas. A partir de um computador com acesso à internet atuando como um cliente MQTT foi possível visualizar a tensão, corrente, potência ativa, potência aparente e fator de potência em tempo real. Os resultados experimentais mostraram que os parâmetros elétricos de uma carga foram medidos com erro menor que 7% comparado com os valores medidos pelo multímetro digital ET-1002 Minipa e o alicate amperímetro digital Engro Kita Aov-1000. Esses dados podem ser utilizados na elaboração de projetos de eficiência energética, em sistemas de monitoramento da integridade de máquinas elétricas e na análise da qualidade de energia.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP por disponibilizar recursos para a realização da pesquisa por meio da concessão de bolsa de pesquisa do programa PIBIFSP.

REFERÊNCIAS

Analog Devices. Analog Filter Wizard. Disponível em: <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>. Acesso em 21/05/2022.

HiveMQ. MQTT Essentials – The Ultimate Kickstart for MQTT Beginners. Disponível em <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>. Acesso em 06 de maio de 2022.

Şen, M. and Kul, B. IoT-based wireless induction motor monitoring. In: 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), 2017, Bulgaria.

Wasoontarajaroen, S.; Pawasan K.; Chamnanphrai, V. Development of an IoT device for monitoring electrical energy consumption. In: 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 2017, Phuket.