

## 12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

### DESENVOLVIMENTO DE UM INTERRUPTOR INTELIGENTE UTILIZANDO TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS

GUILHERME M. DE TOLEDO <sup>1</sup>, PABLO R. DE SOUZA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIT, IFSP, Campus Piracicaba, E-mail: guilherme.toledo@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Professor, IFSP, campus Piracicaba, Email: pablo@ifsp.edu.br.

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

**RESUMO:** O desenvolvimento de equipamentos e processos que contribuam para uso racional da energia elétrica e o aumento da eficiência energética das instalações é um tema de grande importância na sociedade moderna. Há estudos que mostram que a disponibilidade de indicadores da energia consumida pelos equipamentos, bem como o custo dessa energia podem auxiliar o consumidor a adotar medidas para reduzir o consumo. Este trabalho apresenta um interruptor inteligente capaz de fornecer informações sobre o consumo de energia de cargas conectadas na rede elétrica, bem como acionar remotamente essas cargas utilizando um smartphone conectado na internet. Resultados experimentais demonstram a eficácia do dispositivo desenvolvido.

**PALAVRAS-CHAVE:** internet das coisas, medidor de energia, eficiência energética, MQTT, ESP8266.

#### DEVELOPMENT OF A SMART SWITCH USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

**ABSTRACT:** The development of equipment and processes that contribute to the rational use of electrical energy and increase the energy efficiency of electrical installations is an issue of great importance in modern society. There are studies that show that the availability of indicators of the energy consumed by equipment, as well as the cost of this energy, can help consumers to adopt measures to reduce consumption. This work presents an intelligent switch capable of providing information about the energy consumption of loads connected to the electrical network, as well as remotely triggering these loads using a smartphone connected to the internet. Experimental results demonstrate the effectiveness of the device developed.

**KEYWORDS:** internet of things, power meter, energy efficiency, MQTT, ESP8266.

#### INTRODUÇÃO

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. Um estudo feito pela Empresa de Pesquisa Energética previu um aumento médio de 3,7% ao ano na demanda por energia elétrica no período de 2016 até 2019. No seguimento residencial, o aumento médio é de 3,9% (EPE, 2017). Para atender essa demanda crescente, duas ações são necessárias: o

aumento da oferta de energia elétrica e a otimização do seu uso com equipamentos e processos mais eficientes.

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. No seguimento da automação residencial e predial, várias aplicações têm sido desenvolvidas, por exemplo, climatização, sistemas de aquecimento, ventilação, iluminação, segurança, acionamento remoto de cargas e eletrodomésticos, medidores de energia inteligentes, entre outros. O emprego dessas tecnologias nas edificações, proporciona aumento do conforto, otimização do consumo e economia de energia elétrica (Singh, 2018). Para citar um exemplo, Wasoontarajaroen *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. Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento de um interruptor inteligente capaz de fornecer informações sobre o consumo de energia de cargas conectadas na rede elétrica e ser acionado remotamente por um smartphone conectado na internet.

## MATERIAL E MÉTODOS

A potência elétrica consumida pela carga pode ser obtida por meio da medição da tensão e corrente elétrica da carga. Num sistema digital microcontrolado, os sinais analógicos gerados pelos sensores 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 do sinal. Para minimizar os erros no cálculo da potência ativa, a taxa de amostragem do conversor A/D deve ser múltipla da frequência da rede elétrica (Clarke e Stockton, 1982). A partir das amostras dos sinais, os valores da tensão ( $V_{rms}$ ) e corrente eficaz ( $I_{rms}$ ), potência ativa ( $P$ ) e aparente ( $S$ ), o fator de potência ( $FP$ ) e Energia ( $E$ ) podem ser calculados pelas seguintes equações:

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

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

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

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

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

$$E = P * \Delta t \quad (6)$$

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 de tensão e corrente.

A Figura 1 mostra um esquema dos principais componentes que compõe o interruptor inteligente e a Figura 2 o esquema elétrico do circuito desenvolvido. O acionamento da carga é feito por meio de um relé 120VAC/12VDC/15A. O comando de liga/desliga da carga pode ser enviado pelo smartphone ou por um botão conectado em um dos pinos de entrada/saída do NodeMCU ESP8266. Para a medição da corrente elétrica foi utilizado um sensor de efeito Hall invasivo do tipo ACS712 20A. A tensão da carga foi medida utilizando o módulo sensor de tensão ZMPT101B. Os sinais analógicos de tensão e corrente foram digitalizados pelo conversor A/D MCP3008 da Microchip. Este conversor possui 10 bits de resolução, interface de comunicação SPI, 8 canais multiplexados e frequência de amostragem que

pode chegar a 200ksps. Os sinais nas saídas dos sensores de corrente e tensão foram amostrados com 157 pontos por ciclo, correspondente a uma taxa de amostragem de aproximadamente 9,42 kps. Definida a taxa de amostragem dos sinais dos sensores, foi dimensionado um filtro antialiasing com frequência de corte de aproximadamente 800Hz. O circuito eletrônico do filtro foi projetado com o auxílio da ferramenta analog filter wizard (Analog Devices, 2021) disponibilizada pela Analog Devices.

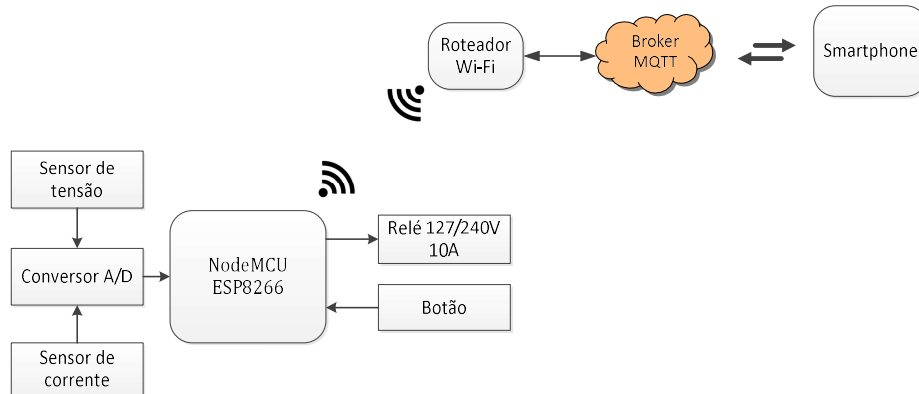


Figura 1 – Diagrama esquemático do interruptor inteligente

A comunicação com o smartphone 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 conectividade com o roteador para acessar o broker MQTT, foi implementado no ESP8266. Neste projeto, foi utilizado o Broker público da empresa HiveMQ.

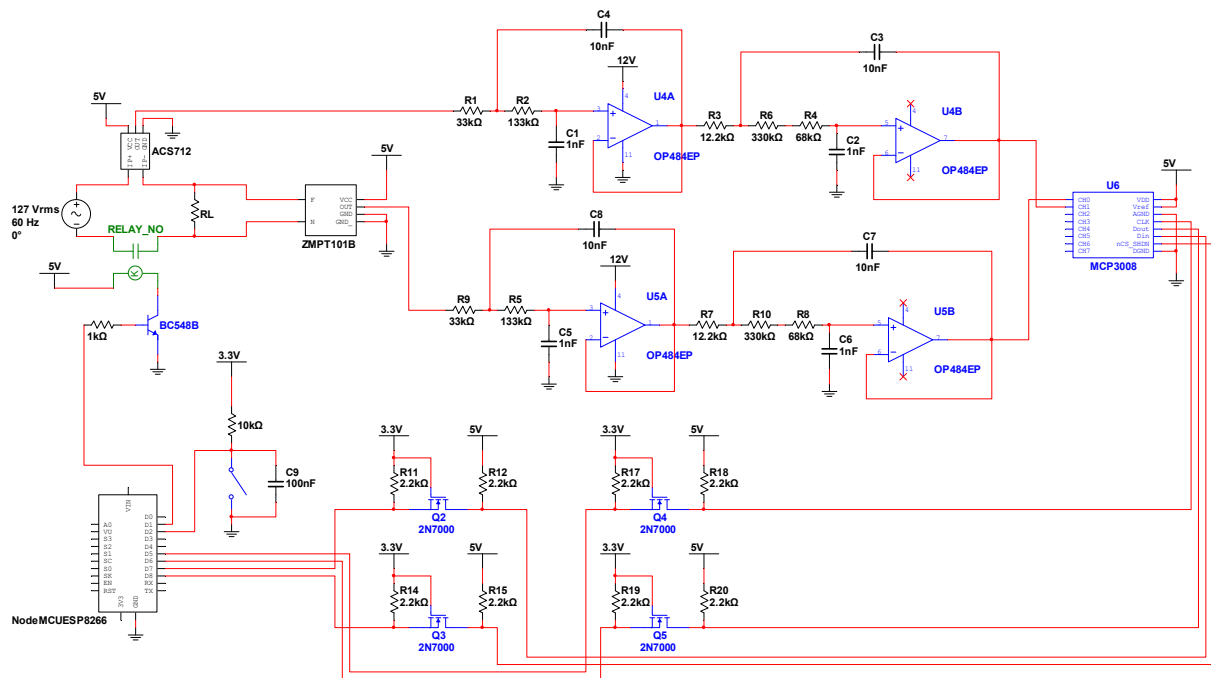


Figura 2 – Esquema elétrico do interruptor inteligente

A Tabela 1 mostra os pinos da placa NodeMCU ESP8266 utilizados no projeto. A leitura do sinal do botão utilizado para o acionamento local do interruptor foi feita por meio de interrupção externa do microcontrolador configurada para ser acionada na borda de descida. A leitura dos dados recebidos do conversor A/D foi feita por meio da interface SPI. Foi utilizada a biblioteca SPI.h para a comunicação

entre o microcontrolador e o conversor A/D. O controle do intervalo de tempo entre as medidas dos sinais de tensão e corrente da carga foi implementado por meio da interrupção do TMR1 do microcontrolador. Após o microcontrolador realizar 157 medições correspondentes a um ciclo, o microcontrolador ativa uma flag (cicloCompleto) e desliga a interrupção do TMR1 para calcular os parâmetros elétricos da carga. Para conectar o módulo ESP8266 na internet via interface WiFi foi utilizada a biblioteca ESP8266WiFi.h. As funções da biblioteca PubSubClient.h foram utilizadas para o módulo atuar como um cliente no protocolo MQTT, para publicar os parâmetros elétricos e se inscrever no tópico do broker MQTT para ligar/desligar a carga.

Tabela 1. Descrição dos pinos da placa NodeMCUESP8266 utilizados no projeto

Número do Pino	Número do GPIO	Função
D1	5	Aciona bobina do relé
D2	4	Botão para acionamento local do interruptor
D5	14	Sinal de clock da interface SPI
D6	12	Sinal de clock da interface MISO
D7	13	Sinal de clock da interface MOSI
D8	15	Sinal de clock da interface CS

Para enviar o comando liga/desliga para o interruptor, bem como visualizar as grandezas elétricas da carga, foi desenvolvida uma interface com o aplicativo android MQTTDash.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o sistema desenvolvido foram feitos testes com diferentes tipos de carga, acionando o interruptor via smartphone e monitorando os valores das grandezas elétricas da carga na interface desenvolvida no aplicativo MQTT Dash. A Figura 3 mostra os dados obtidos do acionamento de um ferro elétrico com potência de 1kW, um ventilador com potência nominal de 126W e um notebook. É importante frisar que a potência especificada dos equipamentos são valores nominais que oscilam de acordo com as condições de uso. Por exemplo, quando o ferro elétrico atinge uma determinada temperatura, ele desliga automaticamente, ou seja, a sua resistência elétrica de aquecimento não fica o tempo todo energizada consumindo a mesma potência. Desta forma, os pequenos desvios observados nos valores medidos são provocados devido as características operacionais dos equipamentos.

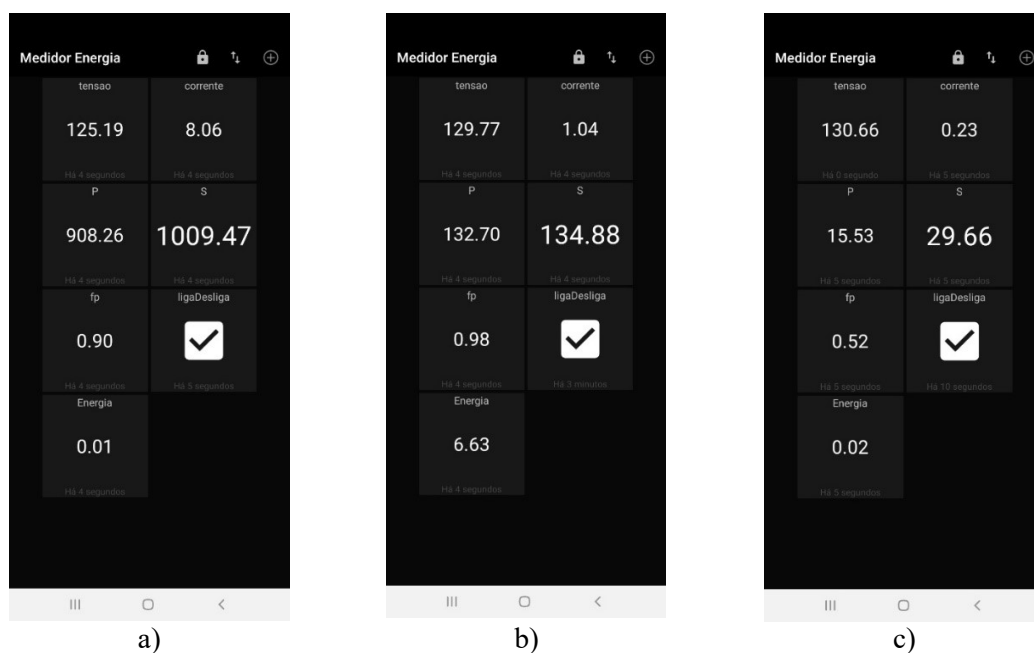


Figura 3 – Valores das grandezas elétricas de a) Ferro elétrico de 1kW, b) Ventilador de 126W, c) Notebook

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um interruptor inteligente capaz de fornecer informações sobre o consumo de energia de cargas conectadas na rede elétrica e ser acionado remotamente por um smartphone conectado na internet. Por meio do aplicativo MQTT Dash foi possível ligar e desligar um ferro elétrico, ventilador e um notebook, bem como visualizar a tensão, corrente, potência ativa, potência aparente, fator de potência e energia consumida pela carga em tempo real. As informações geradas pelo dispositivo proporcionarão o consumo consciente de energia pelos usuários, além de gerar dados importantes que podem ser utilizados na elaboração de projetos de eficiência energética de instalações elétricas.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFSP por disponibilizar recursos para a realização da pesquisa e ao CNPQ pelo financiamento por meio da concessão de bolsa de pesquisa do programa PIBITI.

## REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. Analog Filter Wizard. Disponível em: <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>. Acesso em 21/05/2021.

CLARKE, F. J. J.; STOCKTON J. R. Principles and theory of wattmeters operating on the basis of regularly spaced sample pairs. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 15(6), 1982.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Nota Técnica DEA 001/17 – Projeção da Demanda de Energia Elétrica Para os Próximos 10 anos (2016-2026). Rio de Janeiro, 2017.

HIVEMQ. MQTT Essentials – The Ultimate Kickstart for MQTT Beginners. Disponível em <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>. Acesso em 06 de maio de 2020.

SINGH H.; PALLAGANI V.; KHANDELWAL V.; VENKANNA U. IoT based smart home automation system using sensor node. In: 2018 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2018, Dhanbad.

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.