

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### SMART ENGINE – Sistema IoT de controle e monitoramento de motores elétricos

GUILHERME SILVA ELIAS<sup>1</sup>, PABLO RODRIGO DE SOUZA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, IFSP, Campus Piracicaba, guilherme.elias@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Professor, IFSP, Campus Piracicaba, pablo@ifsp.edu.br

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

**RESUMO:** O presente trabalho descreve o desenvolvimento do sistema IoT "SMART ENGINE", voltado para o monitoramento e controle em tempo real de motores elétricos industriais. Através da plataforma ESP32, o sistema coleta dados de tensão, corrente, frequência do inversor de frequência WEG CFW500 e temperatura, por meio de um sensor infravermelho, além de contabilizar o tempo de operação. Os dados são transmitidos para a plataforma *Blynk*, onde são visualizados em um *dashboard* intuitivo e armazenados em um *datalogger* no *Google Sheets*. O sistema proporciona maior eficiência operacional, permitindo redução dos custos de manutenção e aumento da vida útil dos equipamentos. As principais contribuições do trabalho incluem o desenvolvimento de uma solução de baixo custo e fácil implementação, além da integração de diversas tecnologias para a criação de um sistema completo e robusto.

**PALAVRAS-CHAVE:** internet das coisas; esp32; aquisição de dados; modbus; indústria 4.0.

### SMART ENGINE – IoT system for controlling and monitoring electric motors

**ABSTRACT:** The present work describes the development of the IoT system "SMART ENGINE," designed for real-time monitoring and control of industrial electric motors. Through the ESP32 platform, the system collects data on voltage, current, frequency from the WEG CFW500 frequency inverter, and temperature via an infrared sensor, in addition to tracking operation time. The data is transmitted to the Blynk platform, where it is displayed on an intuitive dashboard and stored in a datalogger on Google Sheets. The system provides greater operational efficiency, enabling reduced maintenance costs and extending the equipment's lifespan. The main contributions of the work include the development of a low-cost, easy-to-implement solution, as well as the integration of various technologies to create a complete and robust system.

**KEYWORDS:** internet of things; esp2; data acquisition; modbus; industry 4.0.

## INTRODUÇÃO

O monitoramento de motores trifásicos de indução é um processo fundamental e de grande utilidade, principalmente em ambientes industriais em geral. Motores elétricos são utilizados em diversos âmbitos e por esta razão, faz-se necessária a aplicação de tecnologias avançadas e seguras que permitam proteção contra danos, falhas e sinistros. Tendo isso em vista, a implementação da IoT (“*Internet of Things*”) permite realizar o monitoramento desses processos de forma remota (Subhashini *et al.*, 2023).

Motores elétricos ou máquinas rotativas estão sempre sujeitos a falhas e a degradação, seja pelas condições operacionais ou ambientais, levando este motivo em consideração, a manutenção preditiva de motores elétricos vem em um movimento ascendente nas indústrias (Leme, 2017). A Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT) é um dos ramos da tecnologia em grande ascensão, possuindo um futuro muito promissor nas áreas em que pode ser aplicada. Esta tecnologia tem sido empregada em diversas áreas, tais como, prédios (edifícios e casas inteligentes), gestão de varejo, logística e cadeia de suprimentos, segurança e privacidade, monitoramento energético e ambiental e telecomunicações (Sônego *et al.*, 2016).

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema IoT para o gerenciamento de motores trifásicos de indução. O sistema proporcionará controle da velocidade (15-60 Hz) e do estado de funcionamento (liga/desliga), além de monitorar em tempo real parâmetros elétricos de frequência, tensão e corrente, bem como a temperatura da carcaça. A implementação de um horímetro permitirá a contabilização precisa das horas de operação, contribuindo para a manutenção preventiva e otimização da vida útil do equipamento. Os dados serão coletados e armazenados via *Google Sheets*, sendo visualizados em tempo real através do *dashboard Blynk*. A implementação será baseada em um microcontrolador ESP32, módulo MODBUS MAX485 e inversor WEG CFW500.

## MATERIAS E MÉTODOS

Para a elaboração do sistema de controle e monitoramento SMART ENGINE, foi realizado um estudo do *hardware* a ser utilizado. A premissa era que os mesmos deveriam ser compatíveis com o microcontrolador ESP32, sendo este, o *hardware* principal de toda a arquitetura do projeto. A Figura 1 mostra a arquitetura utilizada no projeto, destacando os seus principais componentes. O motor elétrico da aplicação é controlado pelo inversor de frequência CFW500. O circuito eletrônico executa a leitura e escrita dos parâmetros do inversor por meio da interface de comunicação RS485 e protocolo MODBUS RTU. A plataforma de desenvolvimento *Blynk* foi utilizada como interface para enviar/receber os dados para o ESP32, via internet, e criar um *dashboard* para a visualização e controle dos parâmetros do motor. Além disso, os dados de tensão, corrente, frequência e temperatura do motor são armazenados em um *datalogger* implementado no *Google Sheets*. A Figura 2 mostra o modelo 3D do projeto e o circuito eletrônico desenvolvido.



FIGURA 1. Arquitetura do SMART ENGINE.

O circuito eletrônico é composto por um microcontrolador ESP32 e um módulo de comunicação MODBUS MAX485 CD4069, para fazer a interface entre o ESP32 e o inversor via RS485. Um borne kre 3 vias foi utilizado para conectar os cabos no inversor (1). Há dois *push buttons* sendo o da esquerda botão de ação para casos de manutenção e o da direita o *reset* do horímetro (2). O sensor de temperatura infravermelho MLX90614 foi conectado no circuito por meio de um borne kre 4 vias (3). Além disso, há um borne kre 2 vias para alimentação em 5 V da placa (4), e um conversor de nível lógico bidirecional para adequações dos sinais de 3,3 V para 5 V para o controle do módulo relé de 4 canais e sua saída via a borne kre 6 vias (5).

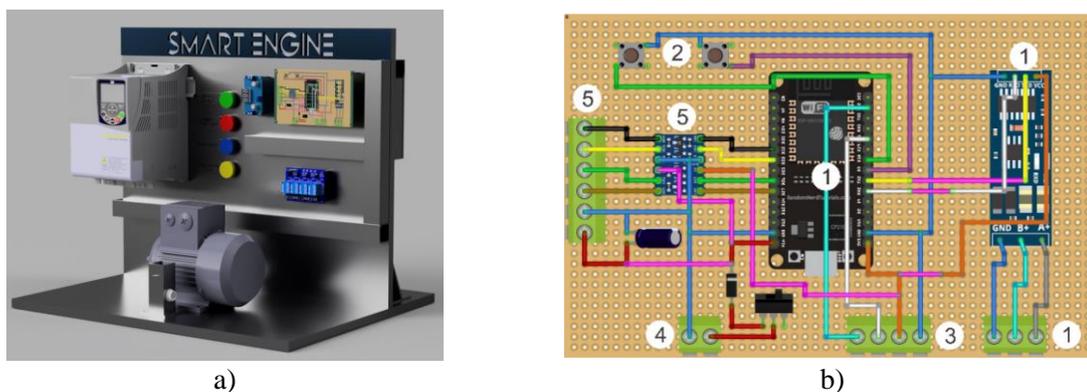


FIGURA 2. a) Modelo 3D do SMART ENGINE b) Circuito eletrônico.

Os parâmetros do inversor de frequência CFW500 foram consultados no manual fornecido pela WEG, incluindo as configurações de setup do motor, cujos dados são obtidos a partir da placa de identificação do motor, e os parâmetros de comunicação serial MODBUS RTU. Os parâmetros do MODBUS RTU são essenciais para configurar aspectos críticos da comunicação do protocolo, como o endereço do dispositivo na rede, a taxa de transmissão de dados, a paridade, e o número de bits de parada, entre outros.

Para a implementação do sistema de comunicação com inversor CFW500 foi utilizado o módulo comunicação MODBUS MAX485 CD4069 (TTL- RS485) via conexão RS-485. O conversor MAX485 CD4069 é um transceptor de baixa potência destinado a aplicações RS-485 e RS-422, ele possui como característica comunicação serial do tipo *half-duplex*, controle automático de direção de dados e taxa de tráfego de dados de até 2.5 Mbps. Para a comunicação do módulo MODBUS MAX485 CD4069 com o inversor CFW500 foi utilizada a biblioteca “ModbusMaster” no programa do microcontrolador. Essa biblioteca implementa diversas funções do MODBUS RTU, por exemplo, ler e escrever registradores (*coils*, *holding registers*, *input registers* etc.), manipular *bits*, organização da comunicação serial entre os dispositivos e ajuste de parâmetros de comunicação. No programa foram utilizadas as seguintes funções da biblioteca:

Leitura de dados de (1) corrente, tensão e frequência:

1. `node.readInputRegisters(endereço de leitura [hexadecimal], endereço do escravo)`.

Escrita de dados (2) “Gira” e “Para” (3) Variação da velocidade:

2. `node.writeSingleRegister(endereço de escrita [hexadecimal], palavra de controle via serial)`;
3. `node.writeSingleRegister(endereço de escrita [hexadecimal], referência de velocidade via serial)`.

A Tabela 1 mostra os endereços de leitura e escrita dos parâmetros do inversor e os valores para realizar os comandos no motor.

TABELA 1. Endereços de leitura e escrita no inversor WEG CFW500.

TIPO	FUNÇÃO	PARÂMETRO	ENDEREÇO	PALAVRA DE CONTROLE	VARIÁVEL /COMANDO
Leitura	<code>node.readInputRegisters</code>	P0003	0x003	N/A	Corrente (A)
Leitura	<code>node.readInputRegisters</code>	P0005	0x005	N/A	Tensão (V)
Leitura	<code>node.readInputRegisters</code>	P0007	0x007	N/A	Frequência (Hz)
Escrita	<code>node.writeSingleRegister</code>	P0682	0x02AA	0x0017	“Gira”
Escrita	<code>node.writeSingleRegister</code>	P0682	0x02AA	0x0010	“Para”
Escrita	<code>node.writeSingleRegister</code>	P0683	0x2AB	0x0800 a 0x2000	15~60 Hz

A Tabela 2 mostra os GPIOs utilizados na conexão do módulo MAX485 CD4069 no ESP32.

TABELA 2. Conexão do módulo MAX485 CD4069 no ESP32.

MÓDULO MAX485	ESP32	FUNÇÃO
TX	TX2 (GPIO 17)	Comunicação serial com ESP32
RX	RX2 (GPIO 16)	Comunicação serial com ESP32
VCC	3V3	Alimentação +
GND	GND	Alimentação -

A fim de medir a temperatura da carcaça do motor, foi utilizado o sensor de temperatura infravermelho MLX90614, de forma a alarmar se ultrapassar 80 °C. Este componente possui como característica medir a temperatura por infravermelho, onde com esse recurso não se faz necessário o contato direto do sensor com o objeto alvo. Este sensor é capaz de medir a temperatura do ambiente de -40 °C até 125 °C e a temperatura de objetos -70 °C até 380 °C com uma precisão de 0,5 °C. A Tabela 3 mostra os GPIOs utilizados na conexão do sensor de temperatura infravermelho MLX90614 no ESP32. A biblioteca “Adafruit\_MLX90614.h” foi utilizada para fazer a integração do sensor de temperatura infravermelho MLX90614 no ESP32. A biblioteca simplifica a comunicação através do protocolo I2C (pinos 21 e 22 do ESP32). A “Adafruit\_MLX90614.h” possui as seguintes funções para a leitura da temperatura:

- Leitura da temperatura do ambiente em °C: `mlx.readAmbientTempC()`;
- Leitura da temperatura do objeto alvo em °C: `mlx.readObjectTempC()`;
- Leitura da temperatura do ambiente em °F: `mlx.readAmbientTempF()`;
- Leitura da temperatura do objeto alvo em °F: `mlx.readObjectTempF()`.

A Tabela 4 descreve as ações atribuídas ao sistema de sinalização do projeto. Para o sistema de sinalização foram utilizados quatro sinaleiros LED 24VDC sendo das cores verde, vermelho, azul e amarelo. O intuito de cada um deles é alertar sobre os pontos principais e críticos do SMART ENGINE.

TABELA 3. Conexão do sensor de temperatura infravermelho MLX90614 no ESP32.

MLX90614	ESP32	FUNÇÃO
SDA	GPIO 21	Comunicação serial I2C (SDA)
SCL	GPIO 22	Comunicação serial I2C (SCL)
VIN	3V3	Alimentação +
GND	GND	Alimentação -

TABELA 4. Indicações dos sinaleiros.

SINALEIRO	INDICAÇÃO 1	INDICAÇÃO 2
Verde	Motor ligado	N/A
Vermelho	Wi-fi conectado	Wi-fi desconectado (intermitente)
Azul	Aviso manutenção programada	N/A
Amarelo	Temperatura > 80 °C (intermitente)	Reset do horímetro (pisca 2x)

Para a visualização dos dados, foi utilizado o *software Blynk*. O *Blynk* é uma plataforma projetada para prototipação, implantação e gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos na IoT (Blynk, 2024). Com o *Blynk*, é possível criar interfaces personalizadas para controlar e monitorar projetos em tempo real, por meio de *dashboards* visuais. No quesito de aquisição de dados do SMART ENGINE foi utilizado a biblioteca “GSheet32.h”. Com essa biblioteca é possível enviar dados diretamente do ESP32 para uma planilha no *Google Sheets*, facilitando a coleta e o monitoramento de informações em tempo real.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação do sistema de comunicação MODBUS RTU entre os dispositivos, foram feitos ensaios para comparação dos dados exibidos na *dashboard Blynk* e na IHM do inversor CFW500. A Figura 3 mostra a bancada montada para a realização dos ensaios em laboratório.



FIGURA 3. Bancada para ensaios e validação do projeto SMART ENGINE.

A Figura 4 destaca os dados exibidos na *dashboard* e no *display* do inversor de frequência. Na coleta dos dados da frequência de saída (Figura 4a) houve uma pequena diferença de 0,5 Hz entre os valores exibidos na *dashboard* e IHM. Isso pode ter ocorrido devido ao valor lido, no parâmetro do inversor correspondente a frequência, ser do tipo inteiro. Dessa forma, somente a parte inteira do número exibido no *display* do inversor foi mostrada na *dashboard*. Quanto aos dados de tensão e corrente (figuras 4b e 4c) os valores exibidos na *dashboard* e no *display* do inversor foram iguais. Outra funcionalidade do sistema é a criação de uma base de dados com os valores de tensão, corrente, frequência e temperatura do motor. Durante o período do ensaio foi separado uma janela de 20 minutos onde foi monitorado aquisição dos dados de tensão, corrente, frequência e temperatura do motor, sendo realizado um *log* a cada um minuto. A Figura 5 mostra os dados adquiridos no *datalogger*. Esses dados podem ser utilizados como base de dados em projetos de inteligência artificial para extrair informações que podem ser utilizadas em sistemas de manutenção preditiva.

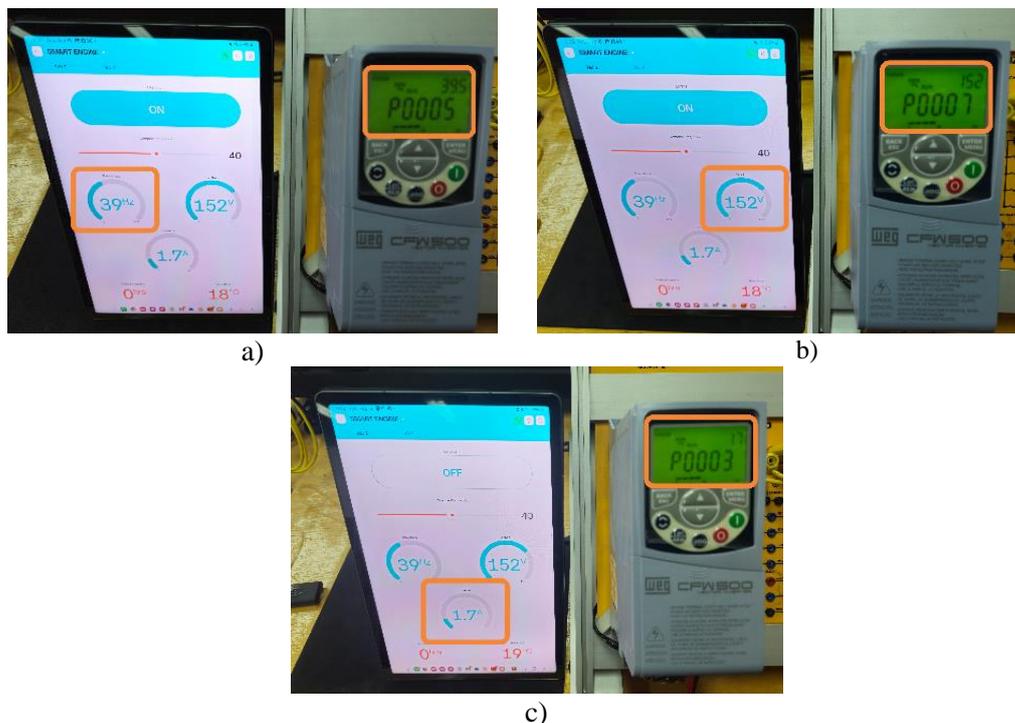


FIGURA 4. a) Comparação dos valores de a) frequência b) tensão e c) corrente exibidos na *dashboard* e no *display* do inversor CFW500.

The screenshot shows the Datalogger\_SmartEngine application interface. At the top, there is a menu bar with options: Arquivo, Editar, Ver, Inserir, Formatar, Dados, Ferramentas, Extensões, Ajuda. Below the menu is a search bar and a toolbar with icons for undo, redo, and zoom. The main area displays a spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F
1	DATE	TIME	VOLTAGE	CURRENT	FREQUENCY	TEMPERATURE
8203	15/08/2024	10:27:13	153.00	1.70	39.00	19
8204	15/08/2024	10:28:19	152.00	1.70	39.00	19
8205	15/08/2024	10:29:25	153.00	1.70	39.00	18
8206	15/08/2024	10:30:32	152.00	1.70	39.00	19
8207	15/08/2024	10:31:39	152.00	1.70	39.00	19
8208	15/08/2024	10:32:45	152.00	1.60	39.00	18
8209	15/08/2024	10:33:53	152.00	1.70	39.00	18
8210	15/08/2024	10:35:01	152.00	1.70	39.00	18
8211	15/08/2024	10:36:08	152.00	1.70	39.00	18
8212	15/08/2024	10:37:15	152.00	1.70	39.00	18
8213	15/08/2024	10:38:22	152.00	1.70	39.00	18
8214	15/08/2024	10:39:29	152.00	1.70	39.00	18
8215	15/08/2024	10:40:36	152.00	1.70	39.00	19
8216	15/08/2024	10:41:43	152.00	1.70	39.00	18
8217	15/08/2024	10:42:50	151.00	1.70	39.00	18
8218	15/08/2024	10:43:57	152.00	1.70	39.00	19
8219	15/08/2024	10:45:05	152.00	1.70	39.00	19
8220	15/08/2024	10:46:13	152.00	1.70	39.00	19
8221	15/08/2024	10:47:20	152.00	1.70	39.00	19

FIGURA 5. Trecho da planilha com os dados monitorados pelo SMART ENGINE.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido o SMART ENGINE, um sistema IoT de controle e monitoramento de motores elétricos. A partir da conexão com a internet, o *hardware* eletrônico conectado a um inversor CFW500 via protocolo MODBUS RS-485, foi possível coletar e visualizar os dados de tensão, corrente e frequência do motor e controle do motor (liga/desliga e variação da velocidade) em tempo real. Os resultados comprovaram a eficácia na comunicação entre o ESP32 e o inversor por meio do protocolo MODBUS RS-485 e interação com o inversor por meio da *dashboard Blynk*, além da aquisição de dados sendo estes salvos em nuvem via *Google Sheets*. Com a ferramenta SMART ENGINE as aplicações onde constam motores elétricos poderão ter um melhor controle, visualização e rastreabilidade dos dados do motor elétrico, contribuindo diretamente no desempenho do processo, vida útil do equipamento, planejamento e custos de manutenção.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFSP Campus Piracicaba por disponibilizar recursos para a realização da pesquisa por meio do laboratório de máquinas elétricas.

## REFERÊNCIAS

BLYNK. Low-Code IoT Software Platform for Electronics Manufacturers. [S.l.]: Blynk, [2024]. Disponível em: <https://blynk.io/blynk-iot-low-code-software-platform>. Acesso em: 30 maio 2024.

LEME, M. O. **Metodologia de manutenção preditiva para motores elétricos baseada em monitoramento de variáveis físicas e análise multicritério**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2905>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SÔNEGO, *et al.* A Internet das Coisas aplicada ao conceito de eficiência energética: uma análise quantitativo-qualitativa do estado da arte da literatura. *AtoZ*, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 80-90, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/atoz/article/view/47860/30163>. Acesso em: 29 jun. 2023.

SUBHASHINI, N.; MOULI, M.; MUGUNTHAN, J.; KUMAR, R. P.; REVANTH, M.; TEJAA, M. Automated Induction Motor Monitoring System Using IoT. In: 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), 2023, Coimbatore, India. *Anais[...]* Coimbatore: IEEE, 2023. p. 166-169. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10112942>. Acesso em: 28 jun. 2023.