

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE MÓDULOS ESP32 UTILIZANDO O ESP-NOW E MODO SLEEP¹

Carlos Renato Borges dos Santos²

RESUMO

O consumo de energia é um dos pontos mais relevantes e críticos em sistemas embarcados, uma vez que um dos recursos mais escassos nesses sistemas é a energia disponível. Outra questão envolvendo sistemas embarcados envolve a temperatura do circuito, que pode se elevar de forma crítica e, além de poder reduzir a vida útil dos componentes devido ao estresse térmico, pode ser um chamativo para a invasão de insetos. Este trabalho descreve experimentos sobre o comportamento térmico dos módulos DevKit V1, placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32u e módulo ESP32 LoRa. Para isso, foi utilizada uma câmera termográfica para monitorar a temperatura dos módulos, diante de algumas funcionalidades do ESP32. Com base nos resultados encontrados, é possível traçar estratégias sobre formas de reduzir o aquecimento e o consumo de energia.

Palavras-chave: ESP32. ESP-NOW. Infravermelho. Sleep. Térmico.

ANALYSIS OF THERMAL BEHAVIOR OF ESP32 MODULES USING ESP-NOW AND SLEEP MODE

ABSTRACT

Energy consumption is one of the most relevant and critical points in embedded systems, as one of the scarcest resources in these systems is the available energy. Another issue involving embedded systems concerns the circuit's temperature, which can rise critically. In addition to potentially reducing the components' lifespan due to thermal stress, it can also attract insects. This paper describes experiments on the thermal behavior of DevKit V1 modules, the ESP-WROOM-32u development board, and the ESP32 LoRa module. For this, a thermal camera was used to analyze the temperature of the modules under various functionalities of the ESP32. Based on the results obtained, it is possible to outline strategies to reduce both heating and energy consumption.

Keywords: ESP32. ESP-NOW. Infrared. Sleep. Thermal.

¹**Como citar este trabalho:** SANTOS, Carlos Renato Borges dos. Análise do comportamento térmico de módulos ESP32 utilizando o ESP-NOW e modo Sleep. ForScience, **Formiga**, v. 13, n. 2, e01331, jul./dez. 2025. DOI: [10.29069/forscience.2025v13n2.e1331](https://doi.org/10.29069/forscience.2025v13n2.e1331).

²**Autor correspondente:** Carlos Renato Borges dos Santos, e-mail: santoscrb@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é apresentar um estudo sobre o comportamento térmico de alguns módulos ESP32, que são: DevKit V1, placa de desenvolvimento Esp-WROOM-32u com antena e ESP32 LoRa V2, da Heltec®.

Diversos estudos e publicações sobre o ESP-NOW podem ser encontrados. O experimento apresentado por Santos e Borges (2022) apresentou uma rede de dados utilizando ESP-NOW e LoRa para a transmissão de dados de sensores de temperatura, umidade e outros, de um galpão avícola para a internet. Nele, foram utilizados três módulos DevKit V1 como escravos e um módulo ESP32 LoRa como dispositivo mestre da rede ESP-NOW. Nesse artigo não foi relatada a utilização do modo *sleep*, o que poderia ter reduzido o consumo de energia e, em caso de limitações energéticas, a duração da bateria poderia ser estendida.

Algumas obras que ensinam sobre o ESP32 também apontam como utilizar o ESP-NOW. A obra de Santos (2021) apresenta detalhes sobre programação do ESP32 e do ESP32 LoRa, no que tange às multitarefas, ESP-NOW e LoRa, além do modo *sleep*, apresentando códigos que foram utilizados neste experimento. Nessa obra não foram relatadas experiências sobre temperatura ou mesmo consumo das placas.

A obra de Cameron (2021) revela detalhes sobre o *hardware* ESP32, no que tange a ESP-NOW, LoRa e modo *sleep*. Nessa obra também nada foi relatado sobre o aumento da temperatura ou sobre o aumento do consumo energético. Contudo, algumas partes dos códigos disponíveis naquele trabalho também foram utilizados no presente trabalho.

A obra de Bertoleti (2019) realiza uma revisão detalhada sobre o ESP32 LoRa, apresentando detalhes sobre esse padrão de transmissão. Embora testes térmicos envolvendo LoRa não tenham sido realizados nesta presente proposta experimental, a obra supracitada foi importante para complementar o entendimento do módulo ESP32 LoRa. O ESP32 LoRa é uma placa de prototipação com o ESP32, OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) e o rádio LoRa (*Long Range*) (HELTEC AUTOMATION, 2020). Uma análise térmica envolvendo ESP LoRa pode ser realizada em trabalhos futuros.

A obra de Volders (2020) também mostra uma revisão sobre o *hardware* do ESP32, apresentando projetos que utilizam a referida plataforma. Embora várias obras e artigos relatem sobre a funcionalidade do ESP-NOW, nenhuma delas relata sobre o consumo ou sobre o aumento de temperatura, percebido experimentalmente. Em razão dessa falta de material sobre

essa constatação, objetivou-se implementar este experimento para complementar esses documentos a respeito do consumo e comportamento térmico dos módulos.

Visando identificar o comportamento térmico, utilizou-se uma câmera térmica. A câmera termográfica é capaz de mostrar a temperatura de objetos, numa resolução de 120x90 pixels, podendo medir objetos numa faixa de temperatura entre -10 °C e 400 °C (MINIPA, 2022).

Alguns trabalhos fora da área de microcontroladores realizam estudos envolvendo imagens em infravermelho. O trabalho de Ponte *et al.* (2016) apresentam um estudo sobre eficiência energética em ambientes agroindustriais, o qual utiliza termografia para analisar a temperatura de motores e de quadros elétricos, em que a temperatura mostrava desperdício de energia, o que é também o tema deste trabalho.

Os autores de GLOWACZ A.; GLOWACZ (2016) analisam imagens térmicas de três motores de indução trifásicos: um motor de indução trifásico em perfeito estado e dois motores de indução trifásicos com defeitos conhecidos. No artigo, os autores desenvolvem um método original de extração de características de imagens térmicas MoASoID (Método de Seleção de Áreas de Diferenças de Imagem).

Uma série de artigos podem ser encontrados sobre o uso de imagens termográficas envolvendo qualidade de energia e motores. Os autores de Tabora *et al.* (2019) realizam uma pesquisa envolvendo imagens térmicas para avaliar o comportamento do 5o harmônico de acordo com as classes de motores.

Durante as buscas bibliográficas realizadas, não foram correlacionados estudos sobre termografia e microcontroladores, mas, sim, principalmente, motores elétricos e outras áreas.

Os artigos mais relacionados aos microcontroladores são aqueles que os utilizam como parte do *hardware* na construção de um medidor, utilizando câmera térmica de baixo custo, modo como foi realizado o trabalho de prototipação de Haripriya, Sunitha e Mahima (2020) na área biomédica.

Dessa forma, o uso de termocâmera para a análise térmica dos módulos ESP32 possui grande relevância, pois mostra um desperdício energético em prototipações que não percebem que este é um ponto a ser melhorado em seus projetos.

- [Administração/Contabilidade/Economia](#)
- [Ciência da Computação](#)
- [Ciências Agrárias/Ambientais](#)

- [Engenharia Civil/Elétrica/Mecânica](#)
- [Educação/Ensino](#)
- [Matemática](#)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os principais materiais utilizados são mostrados na Tabela 1, sendo descritos a seguir.

Tabela 1 – Materiais utilizados

Material	Quantidade
DevKit V1	4
ESP-WROOM-32u	1
ESP32 LoRa	1
Câmera termográfica	1
Cabo USB	4
Fonte USB 1A	4

Fonte: do autor (2024)

2.1 Módulos ESP32

Os três tipos de módulos ESP32 utilizados nestes experimentos são mostrados na Figura 1.

A Figura 1a mostra o DevKit V1, de 30 pinos. A Figura 1b mostra a placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32u, com antena para WiFi e ESP-NOW. A Figura 1c mostra o ESP32 LoRa, da Heltec®.



(a) DevKit V1.



(b) ESP-WROOM-32u.



(c) ESP32 LoRa.

Figura 1 – Módulos ESP32 testados
Fonte: Espressif, Heltec.

2.2 Câmera termográfica

A câmera termográfica é uma ferramenta de medição do espectro infravermelho, capaz de identificar diferenças de temperatura num dispositivo ou ambiente. A câmera utilizada foi a Minipa MTV-120, mostrada na Figura 2, possuindo resolução da imagem de 120x90 pixels (MINIPA, 2022).



Figura 2 – Módulos ESP32 testados
Fonte: (MINIPA, 2022).

2.3 Algoritmos

Neste documento são relatados quatro experimentos envolvendo quatro algoritmos diferentes, que podem ser citados a seguir:

- a) **Algoritmo 1:** Envia mensagens de *broadcast* a cada dois segundos (Experimento 2) ou a cada dez segundos (Experimento 4). Ao enviar um pacote de 32 bits, o LED da placa (pino 2) é ligado por 200 ms, desligando-o a seguir, para sinalizar o envio de mensagem.
- b) **Algoritmo 2:** Aguarda a recepção da mensagem, ligando o LED por 200 ms, desligando-o a seguir para sinalizar a recepção do pacote.
- c) **Algoritmo 3:** Aguarda a recepção da mensagem, ligando o LED por 200 ms, apagando-o a seguir para sinalizar a recepção do pacote, entrando em modo sleep, por um segundo (Experimento 2) ou por nove segundos (Experimento 4)
- d) **Algoritmo 4:** Algoritmo *blink* do Arduino IDE, com a modificação do pino LED (pino2).

3 RESULTADOS

Nesta seção são mostrados os resultados de medição do comportamento térmico, sendo utilizados a câmera termográfica, as fontes USB, os cabos e as placas ESP32. Todos os módulos foram ligados por pelo menos dez minutos, para estabilizar a temperatura de cada módulo, para serem realizadas as medições.

Foram realizados quatro experimentos em momentos e condições térmicas diferentes.

Os experimentos realizados são listados a seguir:

- a) **Experimento 1:** Nesse experimento são comparados os desempenhos de temperatura nos três diferentes módulos ESP32: o DevKit V1, o WROOM e o ESP32 LoRa. O objetivo é caracterizar o perfil térmico de cada módulo, podendo identificá-los. Também foi verificado se possuem temperaturas semelhantes.
- b) **Experimento 2:** Comparação térmica como ESP-NOW ligado e desligado.
- c) **Experimento 3:** Consumo de corrente elétrica de acordo com os critérios: ESP-NOW ligado em modo de recepção (Algoritmo 2), ESP-NOW desligado (Algoritmo 4), ESP-NOW com modo sleep (Algoritmo 3). Não foi possível verificar o impulso de corrente gerado no momento de envio do pacote.
- d) **Experimento 4:** Comparação térmica entre os quatro algoritmos reportados. Para isso, foram utilizados quatro módulos DevKit V1, cada um funcionando com um algoritmo.

3.1 Experimento 1

Neste experimento é utilizado apenas o Algoritmo 2 (ESP-NOW em modo de recepção, sem usar modo *sleep*), em três módulos ESP32 diferentes: o DevKit V1, o ESP32 LoRa e o WROOM. A Figura 3 mostra a imagem em infravermelho dos três tipos de módulos, descritos neste trabalho, como ESP-NOW ligado. A temperatura de fundo foi detectada em 26 °C. Nota-se um aquecimento de mais de 20 °C acima da temperatura ambiente. Também foi percebido um aquecimento um pouco maior no ESP32 LoRa, uma vez que a escala de temperatura atingiu 52 °C, ao passo que os outros atingiram 50,9 °C e 49 °C.

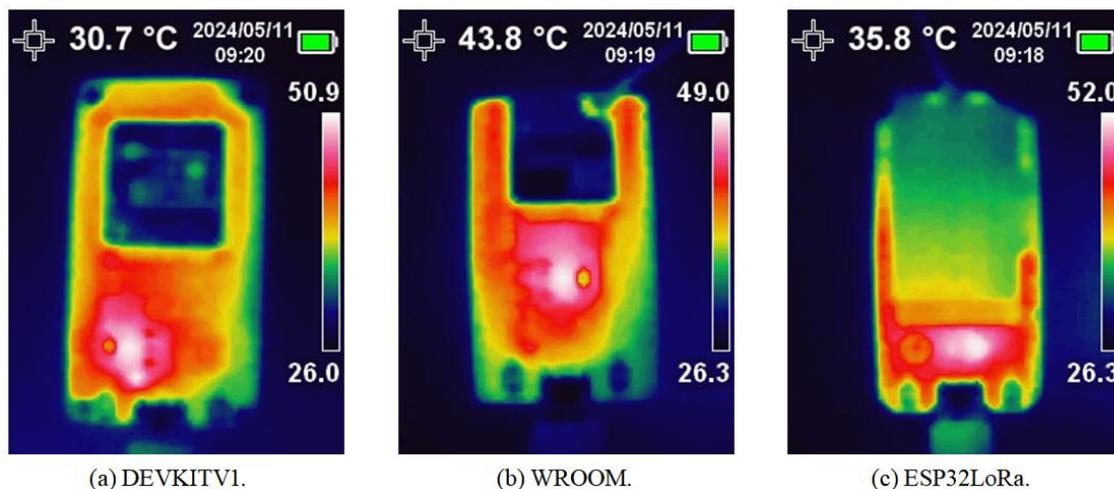


Figura 3 – Módulos com ESP-NOW ligados
Fonte: do autor (2024).

3.2 Experimento 2

Neste experimento são utilizados quatro módulos DevKit V1, cada um gravado com um dos quatro algoritmos desenvolvidos. A Figura 4 mostra dois módulos DevKit V1. Ambos utilizam o ESP-NOW. Entretanto, o módulo de cima utiliza o modo *sleep*, despertando por um segundo até que, ao receber um pacote de dados pelo ESP-NOW, entra em modo *sleep* por um segundo (Algoritmo 3). Já o módulo de baixo corresponde ao módulo com ESP-NOW ligado em tempo integral (Algoritmo 2). Nota-se uma diferença substancial da temperatura no dispositivo que utiliza o modo *sleep*.

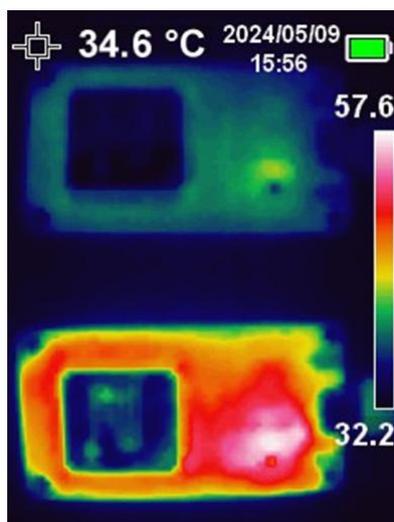


Figura 4 – Módulos DevKit V1: o de cima em modo *sleep* e o de baixo ligado de forma constante
Fonte: do autor (2024).

3.3 Experimento 3

Neste experimento foram medidas as correntes elétricas do DevKit V1, sob as seguintes condições de trabalho: com ESP-NOW ligado (Algoritmo 2), com ESP-NOW desligado (Algoritmo 4) e em modo *sleep* (Algoritmo 3).

A Tabela 2 mostra o consumo de corrente elétrica e o cálculo de potência dissipada do módulo DevKit V1, nas três condições de operação.

Tabela 2 – Dados de consumo do DevKit V1

Modo de operação	Corrente [mA]	Potência [mW]
ESP-NOW ligado (Algoritmo 2)	118,3	591,5
Modo <i>sleep</i> (Algoritmo 3)	16,9	84,5
Código <i>Blink</i> (Algoritmo 4)	46,7	233,5

Fonte: Autor (2024).

Observando a Tabela 2, o consumo em modo *sleep* é sete vezes menor do que com o ESP-NOW ligado e 2,76 vezes menor do que o consumo do módulo funcionando sem o ESP-NOW.

3.4 Experimento 4

Devido à grande disponibilidade de módulos DevKit V1 e de seu baixo custo, foram utilizados quatro desses dispositivos, cada um com uma funcionalidade diferente.

Neste experimento, o módulo mestre (Algoritmo 1) envia dados a cada dez segundos, em que dois módulos escravos recebem o dado e enviam uma resposta. O tempo foi aumentado para 10 segundos, uma vez que a transmissão de dados de sensores pode ser esparsa no tempo, principalmente para o sensoriamento remoto. Entretanto, não foi deixado um tempo desligado ainda maior, por causa da inércia térmica, podendo haver erros de medição de temperatura, ou a necessidade de mais imagens térmicas. O endereço de *broadcast* é definido por: 0xFF:0xFF:0xFF:0xFF:0xFF:0xFF (SANTOS, 2021).

A diferença entre os dois módulos escravos é que um deles permanece ligado em tempo integral (Algoritmo 2), ao passo que o outro entra em modo *sleep* por nove segundos (Algoritmo 3) e, ao despertar, aguarda o sinal do módulo mestre, entrando em hibernação. Quanto ao quarto módulo, este apenas realiza o processamento do código básico *blink*, sem modo *sleep* e sem o ESP-NOW ligado (Algoritmo 4).

A Figura 5 mostra quatro módulos DevKit V1. De cima para baixo, temos: módulo com ESP-NOW ligado em modo escravo (Algoritmo 2); módulo com ESP-NOW ligado em modo mestre (Algoritmo 1); módulo com ESP-NOW ligado por um segundo e em modo *sleep* por nove segundos (Algoritmo 3); e módulo com ESP-NOW desligado, funcionando com o famoso código *blink* (Algoritmo 4). Nessa figura, nota-se que, com o modo *sleep*, mesmo que o ESP-NOW seja ligado, o estresse térmico é menor do que um simples módulo funcionando em tempo integral, e com a antena ESP-NOW desligada.

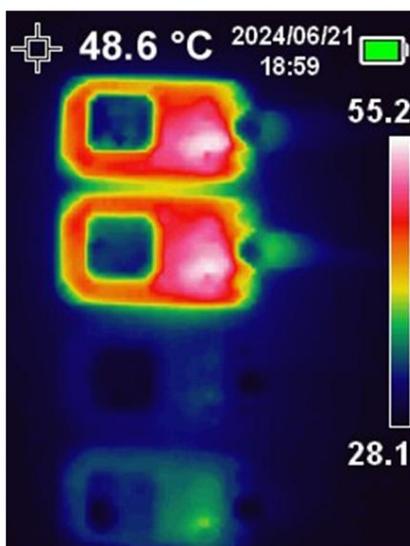


Figura 5 – Quatro módulos DevKit V1
Fonte: do autor (2024).

Utilizando os dados da Tabela 2, foi construída a Tabela 3, que estima o consumo de carga em uma hora (mAh), considerando o tempo em modo *sleep* de nove segundos, e o tempo com ESP-NOW ligado por um segundo.

Tabela 3 – Carga utilizada do DevKit V1

Modo de operação	Potência [mAh]
ESP32 ESP-NOW	118,3
ESP32	46,7
ESP32 em modo <i>sleep</i>	27,04

Fonte: do autor (2024)

Com base na Tabela 3, calcula-se que o modo *sleep* reduziu em 4,3 vezes o consumo de carga em relação ao dispositivo com ESP-NOW ligado, e em 1,7 vez do que o dispositivo com o ESP-NOW desligado. Isso mostra a importância de se utilizar o ESP-NOW em conjunto com o modo *sleep*, sem perda de dados.

4 CONCLUSÕES

Neste experimento foram mostrados os comportamentos térmicos, quando o ESP-NOW é ativado, dos módulos DevKit V1, WROOM com antena e ESP32 LoRa. É possível identificar cada módulo por meio das imagens, que apresentam características próprias.

Ao ligar o módulo ESP-NOW, constatou-se que a temperatura dos kits é elevada em torno de 26 °C, o que aumenta o estresse térmico dos módulos, podendo-se reduzir a vida útil destes, além de elevar o consumo, o que pode ser crítico para sistemas embarcados com limitação de energia, podendo-se, contudo, atrair insetos a construírem ninhos.

Foi verificada a redução da temperatura bem como do consumo de energia quando utilizado o modo *sleep*. A utilização do modo *sleep* reduziu significativamente a temperatura dos módulos, a ponto de obter temperaturas menores do que a dos módulos que não utilizam o ESP-NOW.

Mesmo aplicando o modo *sleep*, não foi percebida perda de dados, uma vez que o protocolo desenvolvido acorda o dispositivo escravo um segundo antes do sinal de *broadcast* ser enviado, entrando novamente em modo *sleep* após a recepção do pacote.

Diante dos resultados apresentados, recomenda-se o uso do modo *sleep* ao utilizar o ESP-NOW, uma vez que reduz o consumo de energia e, conseqüentemente, a temperatura do dispositivo. Até mesmo dispositivos sem o ESP-NOW ligado, quando possível, devem ser colocados em modo *sleep*, reduzindo o consumo de energia e a temperatura do circuito.

REFERÊNCIAS

BERTOLETI, P. **Projetos com ESP32 e LoRa**. Joinville-SC: Clube de Autores, 2019.

CAMERON, N. **Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building web pages, applications, and WiFi enabled devices**. [S.l.]: Berkeley: Apress L.P., 2021.

GLOWACZA.; GLOWACZ, Z. Diagnosis of the three-phase induction motor using thermal imaging. **Infrared Physics & Technology**, v. 81, 2016.

HARIPRIYA, A. B.; SUNITHA, K.; MAHIMA, B. Development of low-cost thermal imaging system as a preliminary screening instrument. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 172, p.283–288,2020.

HELTEC AUTOMATION. **WiFi LoRa 32 (V2)**: Lora node development kit. China, 2020.

MINIPA. MTV 120: Manual de instruções câmera termovisora. São Paulo, 2022.

PONTE, E. F. D. *et al.* **Diagnóstico de eficiência em uma agroindústria utilizando termografia**. Cascavel, PR: Seminário Engenharia na Agricultura, 2016.

SANTOS, C. R. B. dos. **Fundamentos de Projetos Eletrônicos Envolvendo o ESP32 e ESP32 LoRa Utilizando o Arduino IDE**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2021.

SANTOS, C. R. B. dos; BORGES, E. P. C. Sistema de monitoramento de baixo custo para galpões avícolas de pequeno porte utilizando iot. **ForScience**, v.10, n.1, p.e01116, ago.2022.

TABORA, J. M. *et al.* **Impactos do 5º Harmônico na Temperatura de Motores Elétricos Classes IE2, IE3 e IE4**. São Caetano do Sul: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, XIII, 2019.

VOLDERS, L. **ESP32 Simplified: Control your home over the internet**. [S.l.]: Lulu.com, 2020.

DADOS DO AUTOR:

Carlos Renato Borges dos Santos

E-mail: santoscrb@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4669261214745681>

Bacharel em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Goiás (2003), mestre em engenharia elétrica e de Computação pela Universidade Federal de Goiás (2005) e doutor em engenharia agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2017), com doutorado-sanduíche pela Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Atuou entre 2010 e 2012 no projeto de cooperação internacional (Brasil-França) em educação profissional e tecnológica na área da indústria eletroeletrônica (financiado pelo MEC/SETEC). Atualmente é professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, na área de Eletrônica analógica, digital, potência e de microcontroladores. É autor dos livros: "Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o Arduino - teoria digital" e do livro "Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o ESP32 e ESP32 LoRa - Utilizando o Arduino IDE".