

## Comunicação entre ESP32-CAM e ESP32 N16 com Inteligência Artificial de Visão Computacional para Processamento Embarcado

### Communication Between ESP32-CAM and ESP32 N16 Using Computer Vision Artificial Intelligence for Embedded Processing

Danilo Tamanhão<sup>1</sup>, Douglas Trindade<sup>2</sup>, Gabriel Antônio<sup>3</sup>, Miguel Almeida Patto<sup>4</sup>, Rafael de Paula Francisco<sup>5</sup>, Marcello Pereira Benevides<sup>6</sup>.

#### RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado para detecção de queimadas e desmatamento utilizando visão computacional e dispositivos de baixo custo. O sistema é composto por um ESP32-CAM, responsável pela captura e processamento local de imagens com modelos leves de IA, e um ESP32 N16, que recebe os resultados via comunicação UART e aciona alertas ou registra eventos. A abordagem proposta visa reduzir a latência, o consumo de energia e a dependência de internet, permitindo operação em áreas remotas. A metodologia emprega técnicas de processamento na borda (Edge Computing) e modelos treinados para identificar focos de incêndio e alterações na cobertura vegetal. Espera-se que a solução seja escalável, de fácil manutenção e adequada para monitoramento ambiental contínuo, contribuindo para ações preventivas e de resposta rápida.

**Palavras-chave:** Queimadas. Desmatamento. Visão computacional. ESP32. Processamento embarcado.

---

1Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guisard. E-mail: [rpaulafrancisco@gmail.com](mailto:rpaulafrancisco@gmail.com)

2Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guisard. E-mail: [douglas.trindade@outlook.com](mailto:douglas.trindade@outlook.com)

3Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guisard. E-mail: [gbsurfs@gmail.com](mailto:gbsurfs@gmail.com)

4Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guisard. E-mail: [danilo.tamanhao@gmail.com](mailto:danilo.tamanhao@gmail.com)

5Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guisard. E-mail: [miguelalmeida9800@gmail.com](mailto:miguelalmeida9800@gmail.com)

## ABSTRACT

This work presents the development of an embedded system for wildfire and deforestation detection using computer vision and low-cost devices. The system consists of an ESP32-CAM, responsible for image capture and local processing with lightweight AI models, and an ESP32 N16, which receives the results via UART communication and triggers alerts or logs events. The proposed approach aims to reduce latency, power consumption, and internet dependency, enabling operation in remote areas. The methodology employs edge computing techniques and models trained to identify fire outbreaks and changes in vegetation cover. The solution is expected to be scalable, easy to maintain, and suitable for continuous environmental monitoring, contributing to preventive actions and rapid response.

**Keywords:** Wildfire. Deforestation. Computer vision. ESP32. Embedded processing.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento das queimadas e do desmatamento tem causado impactos ambientais significativos, prejudicando a biodiversidade, contribuindo para as mudanças climáticas e afetando a qualidade do ar. O monitoramento contínuo dessas áreas é essencial para que ações de prevenção e combate sejam mais rápidas e eficazes. No entanto, sistemas convencionais de monitoramento por satélite apresentam desafios como alto custo, baixa resolução temporal e dependência de conexões estáveis com a nuvem.

Segundo Chang, Wu e Lin (2025, p. 2), *"o crescimento rápido da IoT e da IA está levando a desafios crescentes para a computação em nuvem, principalmente devido a cargas excessivas de dados"*. Isso reforça a necessidade de soluções que processem informações localmente, reduzindo a latência e a dependência de internet. Neste contexto, este projeto propõe o uso de **ESP32-CAM** e **ESP32 N16** integrados a modelos de visão computacional para detectar focos de incêndio e áreas de desmatamento em tempo real. A comunicação entre os dispositivos será feita via **UART**, permitindo instalação em pontos estratégicos e operação autônoma mesmo em locais remotos.

### 1.1 Problema de pesquisa

A dependência total da nuvem para o processamento de imagens e vídeos causa atrasos significativos em aplicações sensíveis ao tempo. Sarkar et al. (2023) afirmam que *"os sistemas de entrega existentes carecem de eficiência e precisão no manuseio de pacotes, levando a atrasos e erros"*.

### 1.2 Objetivo(s)

- Desenvolver um sistema embarcado de visão computacional para detecção de focos de incêndio e alterações na cobertura vegetal.
- Utilizar ESP32-CAM para captura e pré-processamento de imagens e ESP32 N16 para comunicação e acionamento de alertas.

- Empregar comunicação UART para reduzir latência e permitir funcionamento offline.
- Avaliar o desempenho quanto à acurácia de detecção, consumo de energia e robustez em campo.

### 1.3. Justificativa

A prevenção e o combate a queimadas e desmatamento dependem de monitoramento rápido e preciso. Como afirmam Chang, Wu e Lin (2025, p. 3), *"a computação em borda reduz a dependência da nuvem, melhora a capacidade de resposta em tempo real, otimiza o uso da largura de banda e fortalece a segurança dos dados"*. O uso de dispositivos de baixo custo como o ESP32 possibilita a implementação em larga escala, inclusive em áreas remotas, com manutenção mínima e alta autonomia energética (possivelmente alimentados por energia solar).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Sarkar et al. (2023) apresentaram um sistema inteligente baseado em IA para monitoramento e detecção em tempo real, destacando que "o design modular permite integração com sensores e dispositivos de comunicação para ampliar a aplicação do sistema" (SARKAR et al., 2023, p. 1255). Embora aplicado à logística, a abordagem modular e o uso de IA se estendem ao monitoramento ambiental. Chang, Wu e Lin exploram uma arquitetura híbrida Edge–Cloud para reconhecimento de objetos, utilizando o ESP32-CAM com MobileNet no processamento local e YOLOv8 para verificação na nuvem. A detecção de queimadas e desmatamento pode ser adaptada dessa abordagem, substituindo modelos genéricos por redes neurais treinadas para identificar fumaça, fogo, áreas recém-desmatadas e mudanças na vegetação.

Em um trabalho focado na detecção de incêndios florestais, Subbarayudu et al. (2024) propuseram um sistema de rede de sensores sem fio baseado no microcontrolador ESP32 para detecção precoce de incêndios. A abordagem utiliza sensores como o MQ6 para gases inflamáveis e DHT11 para temperatura e umidade. Os dados são enviados para o Google Firebase via Wi-Fi, permitindo o monitoramento constante e o envio de alertas.

Outra abordagem para o combate a incêndios florestais, descrita por Silva (2021), envolve o uso de módulos de sensores compactos para veículos, que auxiliam na detecção e supressão de focos de incêndio. O sistema inclui um módulo de mapeamento térmico com um sensor infravermelho para localizar focos de calor, e um módulo de alarme que monitora a qualidade do ar e a localização via GPS. A comunicação entre os módulos e o usuário é realizada via Bluetooth, permitindo que os socorristas recebam dados dos sensores enquanto mantêm a conexão de dados móvel para se comunicarem com a central.

### 3 METODOLOGIA

O sistema proposto será composto por:

- **ESP32-CAM:** captura imagens periódicas, processa-as localmente usando TensorFlow Lite e MobileNet adaptado para detecção de fumaça e mudanças na vegetação.
- **ESP32 N16:** recepção dos dados via UART e execução de ações correspondentes.

A comunicação entre os dispositivos será estabelecida via UART (TX ↔ RX, GND comum), com taxa de transmissão configurada em 115200 bps. Essa escolha visa simplificar o sistema, reduzir a latência e o consumo de energia, eliminando a necessidade de redes sem fio para a troca de dados.

Em contraste com abordagens que utilizam comunicação sem fio para enviar dados para a nuvem, como o sistema de Subbarayudu et al. (2024) que utiliza Wi-Fi e Google Firebase, a nossa metodologia prioriza a comunicação local entre os dispositivos. Essa escolha de design, semelhante ao sistema de Silva (2021) que utiliza Bluetooth para comunicação entre os módulos e o usuário, visa reduzir a latência e a dependência de internet, tornando o sistema ideal para áreas remotas com baixa conectividade.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se que o uso de UART reduza significativamente a latência de comunicação em comparação com métodos baseados em Wi-Fi. De acordo com Chang, Wu e Lin (2025), *"o servidor de borda reduz significativamente o uso de largura de banda e a latência, aliviando efetivamente a carga no servidor em nuvem"*, e, ao eliminar a rede sem fio entre os dois dispositivos, a resposta do sistema tende a ser ainda mais rápida. Além disso, a economia de energia e a robustez em ambientes com baixa conectividade tornam essa solução adequada para aplicações em logística, robótica móvel e monitoramento autônomo.

### 5 CONCLUSÃO

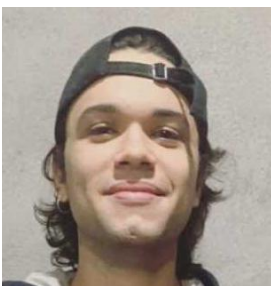
A implementação de um sistema embarcado com ESP32-CAM e ESP32 N16, comunicação UART e IA de visão computacional, representa uma solução eficiente para o monitoramento de queimadas e desmatamento. A abordagem proposta alia baixo custo, independência de internet e resposta rápida, contribuindo para a proteção ambiental e para a tomada de decisão em tempo real.

## REFERÊNCIAS

- CHANG, Y.-H.; WU, F.-C.; LIN, H.-W. *Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object Detection*. *Sensors*, v. 25, n. 1656, p. 1–26, 2025.
- SARKAR, N. et al. *AI-Based Smart Delivery System Using Image Processing and Computer Vision*. *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences*, v. 6, n. 4, p. 1255–1263, 2023.
- SILVA, Pedro Alexandre Pereira da. *Thermal Mapping and Air Quality Sensor Modules for Wildfire Suppression*. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, NOVA University Lisbon, 2021.
- SUBBARAYUDU, Y. et al. *An Efficient IoT-Based Novel Approach for Fire Detection Through Esp 32 Microcontroller in Forest Areas*. *MATEC Web of Conferences*, v. 392, 01109, 2024.

## SOBRE O(S)AUTOR(ES)

### Danilo Tamanhão



Atualmente atua como monitor na Escola Maple Bear, apoiando professores na condução das aulas, organização de atividades pedagógicas e acompanhamento individual dos alunos. Tem experiência na área educacional, com ênfase em ensino bilíngue, atividades lúdicas e desenvolvimento infantil.

### Douglas Trindade



Atualmente trabalha na Novelis, desempenhando funções ligadas à operação e monitoramento de processos produtivos, garantindo padrões de qualidade e segurança. Tem experiência na área industrial, com foco em metalurgia, otimização de processos e manutenção preventiva.

### Gabriel Antônio



Atualmente atua como auxiliar de logística na AutoLiv, realizando controle de estoque, recebimento e expedição de materiais, além de suporte às operações internas de transporte.

### **Miguel Almeida Brunini Patto**



Miguel Almeida Brunini Patto, destacando sua formação acadêmica em Tecnologia em Análise de Sistemas, experiência prática em suporte e desenvolvimento de aplicações, além de certificações relevantes e competências em tecnologia, trabalho em equipe e resolução de problemas.

### **Rafael de Paula Francisco**



Possui formação técnica em Informática pelo Colégio Comercial de Caçapava (2023) e certificações em programação, banco de dados e redes de computadores. Tem experiência em desenvolvimento web, aplicações móveis, integração de sistemas e segurança da informação.

### **Marcello Pereira Benevides**



Docente com mais de 20 anos de experiência na área de engenharia de telecomunicações com atuação destacada em segurança da informação e automação industrial. Mestrando em Engenharia e pós-graduado nas áreas de Segurança da Informação e Automação Industrial.