

# Projeto Simplificado de Reconhecimento de Qualidade de Plantas em Hortas com ESP32-CAM

Antonio Vlnicius Vicentini Liberato RM558014

## 1. Identificação do Problema

### 1.1 Contexto e Afetados

A avaliação da qualidade das plantas em hortas, especialmente em contextos de pequena escala como hortas caseiras, comunitárias ou pedagógicas, é uma tarefa crucial para garantir o sucesso do cultivo e a qualidade da colheita.<sup>1</sup> Os principais afetados por este desafio são jardineiros amadores, pequenos produtores e gestores de hortas comunitárias ou escolares, que nem sempre possuem o conhecimento técnico aprofundado ou o tempo necessário para uma avaliação contínua e precisa.<sup>1</sup> A qualidade das plantas impacta diretamente a produtividade, o valor nutricional dos alimentos e a satisfação do cultivador.<sup>2</sup>

### 1.2 Desafios da Avaliação Manual e Limitações Atuais

Atualmente, a avaliação da qualidade das plantas em hortas de pequena escala é predominantemente manual e visual. Este processo envolve a observação de características como coloração das folhas, presença de pragas ou doenças, vigor geral da planta, e estágio de desenvolvimento.<sup>1</sup> No entanto, esta abordagem apresenta limitações significativas:

- **Subjetividade:** A avaliação depende da experiência e do conhecimento individual, tornando-a inconsistente entre diferentes pessoas ou mesmo para a mesma pessoa em momentos distintos.
- **Consumo de Tempo:** Inspeccionar planta por planta regularmente exige tempo e dedicação, o que pode ser um obstáculo para cultivadores com outras ocupações.
- **Detecção Tardia:** Problemas como deficiências nutricionais ou doenças em estágio inicial podem não ser facilmente perceptíveis ao olho destreinado, levando a intervenções tardias e menor eficácia no tratamento.<sup>1</sup>
- **Necessidade de Conhecimento Específico:** Identificar corretamente pragas, doenças ou deficiências nutricionais exige conhecimento técnico que muitos jardineiros amadores não possuem.<sup>1</sup> A consulta a especialistas nem sempre é viável ou rápida.<sup>1</sup>
- **Monitoramento Contínuo:** A avaliação manual é pontual, dificultando o acompanhamento da evolução da planta ao longo do tempo e a identificação de tendências ou problemas graduais.

Estas limitações podem resultar em manejo inadequado, perdas na produção e desestímulo para os cultivadores.

### 1.3 Relevância da Tecnologia

A aplicação de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA),

especificamente através do uso de câmeras e processamento de imagem, oferece uma solução promissora para superar as limitações da avaliação manual. Um sistema automatizado pode:

- **Padronizar a Avaliação:** Utilizar algoritmos para analisar imagens de forma objetiva e consistente.
- **Permitir Monitoramento Remoto e Contínuo:** Capturar imagens periodicamente e disponibilizar os resultados online, permitindo que o cultivador acompanhe a horta mesmo à distância.<sup>7</sup>
- **Facilitar a Detecção Precoce:** Algoritmos de visão computacional podem identificar padrões sutis associados a problemas de saúde da planta antes que se tornem visualmente óbvios para um humano.<sup>8</sup>
- **Reduzir a Carga de Trabalho:** Automatizar a tarefa de inspeção libera tempo para o cultivador se dedicar a outras atividades de manejo.
- **Democratizar o Conhecimento:** Fornecer diagnósticos ou classificações de qualidade baseados em modelos treinados com dados de especialistas, auxiliando cultivadores menos experientes.

Portanto, um sistema simples baseado em ESP32-CAM para reconhecimento de imagem pode agregar valor significativo ao manejo de hortas caseiras e de pequena escala, tornando a avaliação de qualidade mais acessível, objetiva e eficiente.

## 2. Pesquisa Bibliográfica

Foram analisados trabalhos que utilizam tecnologias semelhantes para monitoramento agrícola, focando em aplicações com ESP32-CAM ou conceitos relevantes para o reconhecimento de imagem de plantas.

### 2.1 Estudo 1: Monitoramento e Gerenciamento de Culturas com ESP32-CAM

- **Resumo:** Este estudo <sup>8</sup> explora o uso do microcontrolador ESP32-CAM para implementar estratégias eficientes de gerenciamento de culturas, visando minimizar perdas na colheita. A capacidade da câmera integrada e a conectividade sem fio são aproveitadas para monitorar fatores como maturação, saúde das plantas e condições ambientais. A tecnologia permite a detecção de problemas como doenças e pragas através da análise de imagens de alta resolução, possibilitando intervenções em tempo real.
- **Tecnologias Utilizadas:**
  - IoT: Sistema de monitoramento em tempo real.
  - Sensores: Câmera integrada do ESP32-CAM, potencialmente outros sensores (temperatura, umidade, umidade do solo mencionados como possibilidades gerais no contexto de IoT agrícola <sup>8</sup>).
  - Microcontrolador: ESP32-CAM.
  - Comunicação: Wi-Fi (implícito pela natureza do ESP32-CAM e aplicações IoT <sup>8</sup>).
  - Algoritmos de IA: Análise de imagem e algoritmos de aprendizado de máquina para identificar maturação, pragas e condições ambientais.<sup>8</sup>
- **Ideias Aproveitáveis:** A principal ideia é a utilização direta do ESP32-CAM para

captura de imagens e monitoramento visual da saúde da planta. A capacidade de processar imagens (mesmo que de forma simples ou enviando para análise) e a conectividade Wi-Fi são centrais para a proposta deste projeto. A menção à detecção de problemas (doenças, pragas) valida a abordagem de usar imagens para avaliar a "qualidade" ou "saúde" da planta.

## 2.2 Estudo 2: Sistema Mecatrônico para Detecção de Pragas em Arrozais com ESP32-CAM e OpenCV

- **Resumo:** Esta pesquisa <sup>9</sup> apresenta um sistema que utiliza ESP32-CAM e a biblioteca OpenCV para identificar pragas em plantações de arroz. O objetivo é auxiliar agricultores na detecção precoce de doenças ou infestações. Embora focado em pragas específicas e usando OpenCV (geralmente em um sistema mais robusto que o ESP32 sozinho para processamento pesado), demonstra a aplicação de visão computacional com ESP32-CAM no contexto agrícola para identificar problemas visuais nas plantas. O estudo menciona o uso de métodos de classificação baseados em características extraídas das imagens.
- **Tecnologias Utilizadas:**
  - IoT/Mecatrônica: Sistema de detecção aplicado à agricultura.
  - Sensores: Câmera (ESP32-CAM).
  - Microcontrolador: ESP32-CAM (para captura, possivelmente pré-processamento ou envio).
  - Comunicação: Wi-Fi (implícito para conectar ao sistema de processamento ou visualização).
  - Algoritmos de IA: Visão computacional (OpenCV), classificação de doenças/pragas (menciona método de retropropagação e extração de características GLCM em um contexto relacionado).<sup>9</sup> Outros estudos citados na mesma fonte usam Deep Learning (CNN) para detecção de pragas.<sup>9</sup>
- **Ideias Aproveitáveis:** A aplicação de visão computacional para detectar anomalias (neste caso, pragas) em plantas usando imagens capturadas pelo ESP32-CAM é diretamente relevante. A ideia de extrair características visuais da imagem para alimentar um classificador pode ser adaptada para uma avaliação de qualidade mais geral ("boa" vs. "má"), mesmo com modelos mais simples que os mencionados (como CNNs). A necessidade de um sistema de processamento (seja local ou remoto) para a análise de imagem também é um ponto importante.

## 3. Proposta de Solução Inicial

Com base nos requisitos de simplicidade, baixo custo e uso do ESP32-CAM, propõe-se a seguinte arquitetura inicial:

### 3.1 Sensores e Atuadores

- **Sensor Principal:** Módulo de câmera integrado ao ESP32-CAM (ex: OV2640 <sup>7</sup>). Este será o componente central para a captura de imagens das plantas.
- **Atuadores:** Nenhum atuador é estritamente necessário para a função básica de reconhecimento de qualidade. O sistema foca no monitoramento e classificação.

### 3.2 Microcontrolador

- **Placa:** ESP32-CAM. Esta escolha é definida pelo requisito do usuário e é adequada devido ao seu baixo custo, processador integrado, conectividade Wi-Fi e, crucialmente, interface de câmera e capacidade de processamento suficiente para tarefas de visão computacional leves ou para transmitir imagens.<sup>11</sup> Possui recursos de IoT que facilitam a integração.<sup>13</sup>

### 3.3 Comunicação

- **Tipo:** Wi-Fi. O ESP32-CAM possui Wi-Fi integrado <sup>11</sup>, o que é ideal para ambientes domésticos ou pequenas hortas com cobertura de rede sem fio. Permite enviar as imagens capturadas ou os resultados do processamento para um servidor, nuvem ou aplicativo móvel com facilidade.<sup>7</sup>

### 3.4 Armazenamento e Processamento de Dados

Propõe-se uma abordagem simples com duas opções principais, dependendo da complexidade desejada e dos recursos disponíveis:

- **Opção 1: Processamento Local (Edge Computing):**
  - **Processamento:** Utilizar bibliotecas como TensorFlow Lite for Microcontrollers no próprio ESP32-CAM para executar um modelo de classificação de imagens leve.<sup>17</sup> O ESP32 tem capacidade para executar modelos de IA na ponta (edge).<sup>15</sup>
  - **Armazenamento:** Os resultados da classificação (ex: "Boa Qualidade", "Má Qualidade", ou um índice de qualidade) podem ser armazenados temporariamente na memória do ESP32 ou enviados diretamente via Wi-Fi para um banco de dados simples (ex: Google Sheets, Firebase, um servidor local) ou exibidos em um aplicativo/dashboard.<sup>7</sup> Opcionalmente, um cartão SD pode ser usado para armazenar imagens ou logs localmente.<sup>10</sup>
  - **Vantagem:** Menor latência, menor dependência de conexão constante com a internet para o processamento, maior privacidade.<sup>15</sup>
  - **Desvantagem:** Limitação na complexidade dos modelos de IA que podem ser executados devido aos recursos restritos do ESP32.
- **Opção 2: Processamento Remoto (Nuvem/Servidor):**
  - **Processamento:** O ESP32-CAM captura a imagem e a envia via Wi-Fi para um servidor ou serviço em nuvem (ex: AWS, Google Cloud, um servidor Python/Flask local). O processamento da imagem e a execução do modelo de IA ocorrem neste servidor mais robusto.<sup>11</sup>
  - **Armazenamento:** As imagens originais e/ou os resultados da classificação são armazenados no servidor/nuvem.
  - **Vantagem:** Permite o uso de modelos de IA mais complexos e precisos, maior capacidade de armazenamento.
  - **Desvantagem:** Maior latência, dependência da conexão Wi-Fi e de um serviço externo, potenciais custos de nuvem.

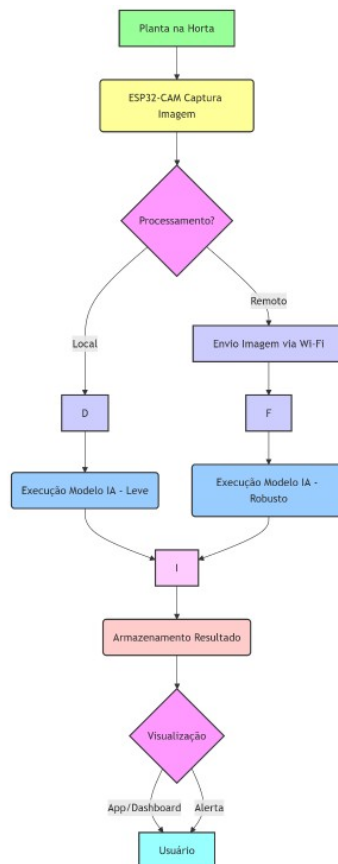
Para um projeto *simples e conciso*, iniciar com o **Processamento Local (Opção 1)** usando um modelo leve pode ser mais adequado, com a possibilidade de evoluir para o processamento remoto se necessário.

### 3.5 Modelo de IA Considerado

- **Tipo:** Classificação de Imagens.
- **Modelo Inicial:** Um classificador binário simples (ex: "Qualidade Boa" vs. "Qualidade Ruim").
- **Abordagem:**
  - Utilizar um modelo pré-treinado para classificação de imagens (disponível em frameworks como TensorFlow Lite) e adaptá-lo (fine-tuning) com um pequeno conjunto de dados de imagens de plantas da horta rotuladas como "boas" ou "ruins".
  - Alternativamente, treinar um modelo customizado simples (ex: uma Rede Neural Convolucional - CNN - pequena) usando uma plataforma como Edge Impulse<sup>11</sup> ou TensorFlow Lite Model Maker, focando em características visuais básicas como cor predominante, textura das folhas, ou presença de manchas visíveis. Modelos como YOLO ou SSD (mencionados em<sup>17</sup>) são mais voltados para detecção de objetos e podem ser complexos demais para um início simples, mas demonstram a capacidade do ESP32 em IA.<sup>15</sup> A meta é começar com algo funcional e leve o suficiente para rodar (ou ser facilmente processado) no contexto do ESP32-CAM.<sup>14</sup>

### 3.6 Diagrama Estrutural da Solução (Pipeline de Dados)

A seguir, um diagrama Mermaid representando o fluxo de dados proposto:



### Explicação do Diagrama:

1. A câmera do ESP32-CAM captura uma imagem da planta.
2. Define-se onde o processamento ocorrerá (localmente no ESP32 ou remotamente).
3. Se local, o ESP32 executa um modelo de IA leve.
4. Se remoto, a imagem é enviada via Wi-Fi para um servidor/nuvem que executa o modelo de IA (potencialmente mais robusto).
5. Ambos os caminhos levam à classificação da qualidade da planta.
6. O resultado é armazenado (localmente ou na nuvem).
7. O usuário pode visualizar o resultado através de um aplicativo, dashboard ou receber alertas.

Esta proposta inicial oferece um caminho claro e simples para desenvolver um sistema de reconhecimento de qualidade de plantas usando o ESP32-CAM, alinhado com os requisitos do usuário, e aproveitando as capacidades da tecnologia IoT e IA de forma acessível.

## 4. Referências

- <sup>3</sup> Brasil. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. *Hortas Pedagógicas: Manual do Gestor*.
- <sup>4</sup> Pontes, J. M. *Manual Horta*. Nutrir.

- <sup>6</sup> Mourão, I. et al. *Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológico*. Biblioteca AGPTEA.
- <sup>1</sup> *Hortas Domésticas e Comunitárias*. CONAB, 1987.
- <sup>2</sup> *Manual Para Implantação de Horta Orgânica*. Scribd.
- <sup>5</sup> LNEC & CML. *Estudo sobre Poluentes em Hortas Urbanas de Lisboa*.
- <sup>11</sup> Discussão em Reddit sobre ESP32-CAM para monitoramento de plantas. r/esp32.
- <sup>12</sup> Grenze International Journal of Engineering and Technology (GIJET), 2024. *Surveillance Monitoring using ESP32-Cam Module for Fog Detection in Agriculture*.
- <sup>8</sup> International Indexed Journal Services & Research (IIJSR). *Crop Management Strategies using ESP32-CAM Microcontroller to Mitigate Harvest Losses*.
- <sup>7</sup> Elhattab, A. et al. (2023). *New Model to Monitor Plant Growth Remotely using ESP32-CAM and Mobile Application*. ResearchGate.
- <sup>13</sup> Sunardi, W. *IoT Based Plant Security and Monitoring System*. GitHub Repository.
- <sup>10</sup> *Capstone Project Book 2022*. American International University-Bangladesh (AIUB).
- <sup>15</sup> Al-Dhief, F. T. et al. (2024). *Performance Evaluation of an ESP32-Based Edge Server System for Edge-Cloud Computing Integration*. Applied Sciences. MDPI. (Via PMC).
- <sup>18</sup> SKU DFR1154 ESP32 S3 AI CAM. DFRobot Wiki.
- <sup>14</sup> International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT). *Plant Disease Detection using ESP32 CAM*.
- <sup>9</sup> ResearchGate Publication. *Mechatronic System for ESP32CAM OpenCV Rice Plant Pest Detection*.
- <sup>16</sup> ResearchGate Figure/Context. *ESP32-Cam Streaming test*.
- <sup>17</sup> International Journal for Research Trends and Innovation (IJRTI). *Object Detection, Tracking, Lane Tracking and Motion Detection using ESP 32 Cam*.
- <sup>19</sup> Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT). *Development of Web-Based Tomato Leaf Disease Classification using ESP32-CAM and Machine Learning*.

## Referências citadas

1. Programas de Hortas Domésticas e Comunitárias - Portal Gov.br, acessado em abril 23, 2025, <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/publicacoes-do-setor-hortigranjeiro/hortasdomesticaszcomunitrias1987.pdf/@download/file>
2. Manual para Implantação de Horta Orgânica | PDF | Fertilizante | Água - Scribd, acessado em abril 23, 2025, <https://pt.scribd.com/document/593468221/Manual-Para-Implantacao-de-Horta-Organica>
3. Hortas Pedagógicas: Manual do Gestor - Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome, acessado em abril 23, 2025, [https://mds.gov.br/webarquivos/MDS/2\\_Acoes\\_e\\_Programas/Acesso\\_a\\_Alimentos](https://mds.gov.br/webarquivos/MDS/2_Acoes_e_Programas/Acesso_a_Alimentos)

- [e\\_a\\_Agua/Programa\\_Nacional\\_de\\_Agricultura\\_Urbana\\_e\\_Peri\\_Urbana/Arquivos/Hortas-Pedagogicas-Manual-do-Gestor.pdf](#)
4. MANUAL BÁSICO PARA IMPLANTAÇÃO DE HORTAS EM ESCOLAS, acessado em abril 23, 2025, <http://www.nutrir.com.vc/horta/ManualHorta.pdf>
  5. avaliação da qualidade dos solos, das águas subterrâneas e das espécies hortícolas em hortas urbanas de lisboa, acessado em abril 23, 2025, [https://www.lisboa.pt/fileadmin/porta/temas/ambiente/estrutura\\_ecologica/LNEC-CML-estudo-hortas-poluentes.pdf](https://www.lisboa.pt/fileadmin/porta/temas/ambiente/estrutura_ecologica/LNEC-CML-estudo-hortas-poluentes.pdf)
  6. Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológico - Biblioteca AGPTEA, acessado em abril 23, 2025, <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/olericultura/livros/MANUAL%20DE%20HORTICULTURA%20NO%20MODO%20DE%20PRODUCAO%20BIOLOGICO.pdf>
  7. New Model to Monitor Plant Growth Remotely using ESP32-CAM and Mobile Application, acessado em abril 23, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/375840536\\_New\\_Model\\_to\\_Monitor\\_Plant\\_Growth\\_Remotely\\_using\\_ESP32-CAM\\_and\\_Mobile\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/375840536_New_Model_to_Monitor_Plant_Growth_Remotely_using_ESP32-CAM_and_Mobile_Application)
  8. Revolutionizing Crop Monitoring: AI-Driven Machine Vision for Real-time Adaptive Harvesting and Loss Mitigation, acessado em abril 23, 2025, <https://ijjsr.com/data/uploads/51285.pdf>
  9. Mechatronic System for ESP32CAM OpenCV Rice Plant Pest Detection - ResearchGate, acessado em abril 23, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/377280943\\_Mechatronic\\_System\\_for\\_ESP32CAM\\_OpenCV\\_Rice\\_Plant\\_Pest\\_Detection](https://www.researchgate.net/publication/377280943_Mechatronic_System_for_ESP32CAM_OpenCV_Rice_Plant_Pest_Detection)
  10. AUTOMATIC PLANT MONITORING SYSTEM BASED ON IOT Summer Semester 2021-2022 January, 2023 Faculty of Engineering American Internati, acessado em abril 23, 2025, <http://dspace.aiub.edu:8080/jspui/bitstream/123456789/870/1/Capstone%20Project%20Book%202022.2.22.pdf>
  11. esp32-cam for monitoring plants - Reddit, acessado em abril 23, 2025, [https://www.reddit.com/r/esp32/comments/1k2r2fj/esp32cam\\_for\\_monitoring\\_plants/](https://www.reddit.com/r/esp32/comments/1k2r2fj/esp32cam_for_monitoring_plants/)
  12. Surveillance Monitoring using ESP32-Cam Module for Fog Detection in Agriculture - GRENZE Scientific Society, acessado em abril 23, 2025, [https://thegrenze.com/pages/servej.php?fn=20\\_1.pdf&name=Surveillance%20Monitoring%20using%20ESP32-Cam%20Module%20forFog%20Detection%20in%20Agriculture&id=2198&association=GRENZE&journal=GJET&year=2024&volume=10&issue=1](https://thegrenze.com/pages/servej.php?fn=20_1.pdf&name=Surveillance%20Monitoring%20using%20ESP32-Cam%20Module%20forFog%20Detection%20in%20Agriculture&id=2198&association=GRENZE&journal=GJET&year=2024&volume=10&issue=1)
  13. IoT Based Plant Security and Monitoring System - Equipped with ESP32-CAM and Soil Moisture Sensor - GitHub, acessado em abril 23, 2025, <https://github.com/wiryanatasunardi/IoT-Based-Plant-Security-and-Monitoring-System>
  14. Plant Leaf Disease Detection using IoT, DL and ML, acessado em abril 23, 2025, <https://ijarsct.co.in/Paper7888.pdf>
  15. Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object



- Detection - PMC, acessado em abril 23, 2025,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11945263/>
16. ESP32 Cam Streaming test | Download Scientific Diagram - ResearchGate, acessado em abril 23, 2025,  
[https://www.researchgate.net/figure/ESP32-Cam-Streaming-test\\_fig2\\_361253507](https://www.researchgate.net/figure/ESP32-Cam-Streaming-test_fig2_361253507)
  17. Multiple Object Detection, Object Tracking, Lane Tracking, and Motion Detection Shadow Robot Based on Computer Vision - ijrti, acessado em abril 23, 2025,  
<https://www.ijrti.org/papers/IJRTI2305133.pdf>
  18. ESP32-S3 AI CAM Wiki - DFRobot, acessado em abril 23, 2025,  
[https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_DFR1154\\_ESP32\\_S3\\_AI\\_CAM](https://wiki.dfrobot.com/SKU_DFR1154_ESP32_S3_AI_CAM)
  19. TOMATO PLANT OBSERVATION AND DISEASE DETECTION USING MACHINE LEARNING AND IOT - Journal of Theoretical and Applied Information Technology, acessado em abril 23, 2025,  
<http://www.jatit.org/volumes/Vol100No21/12Vol100No21.pdf>