

CLASSIFICAÇÃO DE BACTERIOSE NAS FOLHAS DA MANDIOCA ORIENTADO POR APRENDIZAGEM PROFUNDA

CLASSIFICATION OF BACTERIOSIS ON CASSAVA LEAVES CASSAVA GUIDED BY DEEP LEARNING

Carlos Eduardo Campos Takeshita	{ carloa.takeshita@fatec.sp.gov.br }
Yago Uran Kurashiki Rios	{ yago.rios@fatec.sp.gov.br }
Marcelo Augusto Pedroso Martins	{ marcelo.martins36@fatec.sp.gov.br }
Sthevens Konesuk Miranda dos Santos	{ sthevens.santos@fatec.sp.gov.br }

RESUMO

O Projeto Classificação de Bacteriose nas Folhas da Mandioca, orientado por Aprendizagem Profunda, tem como objetivo desenvolver um aplicativo de inteligência artificial (IA) para detectar as probabilidades da infecção por *Xanthomonas phaseoli* em folhas de mandioca. Utilizando técnicas de deep learning, o aplicativo permitirá que os usuários capturem imagens das plantas ou enviem imagens armazenadas em seus dispositivos, com intuito de serem analisadas de forma eficaz pela IA do aplicativo, onde será exibido o grau de infecção da planta, fornecendo informações precisas e com agilidade. Tendo um sistema de mapeamento que ajudará na identificação de áreas mais vulneráveis, possibilitando intervenções direcionadas. A capacidade de detectar infecções de maneira rápida e eficiente é crucial para a diminuição dos danos causados pela bactéria, sendo possível monitorar as plantações através do mobile ou web, utilizando o sistema de calor e as análises das folhas para mapear e prever a incidência da bactéria.

PALAVRAS-CHAVE: Deep Learning; *Xanthomonas phaseoli*; Infecções.

ABSTRACT

The Deep Learning-Driven Bacteriosis Classification in Cassava Leaves Project aims to develop an artificial intelligence (AI) application to detect the probabilities of *Xanthomonas phaseoli* infection in cassava leaves. Using deep learning techniques, the application will allow users to capture images of plants or send images stored on their devices, which will be effectively analyzed by the application's AI, where the degree of infection of the plant will be displayed, providing accurate and agile information. Furthermore, the project seeks to create a mapping system that will help identify more vulnerable areas, enabling targeted interventions and improving agricultural practices. The ability to detect infections quickly and efficiently is crucial to reducing the damage caused by the bacteria, promoting the sustainability of cassava production and contributing to food security in affected communities.

KEYWORDS: Deep Learning; *Xanthomonas phaseoli*; Infections.

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem como proposta os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam promover um equilíbrio entre crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. Dentre esses objetivos, destaca-se o ODS 15 — “Vida Sobre a Terra”, cujo propósito é proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, além de gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e conter a perda da biodiversidade. Essa meta reforça a importância da preservação dos recursos naturais e a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis.

O Brasil possui grande destaque como um dos principais países exportadores agrícolas do planeta, representando um papel essencial na segurança alimentar global. Em 2023, o país registrou uma alta de 4,8% nas exportações agrícolas em relação ao ano anterior, atingindo um valor total de US\$166,55 bilhões, segundo dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (Rossini, 2024). Essa expansão demonstra a relevância e o dinamismo do agronegócio brasileiro, que se apoia tanto em tecnologias inovadoras quanto em práticas tradicionais de cultivo. Pesquisas realizadas pela

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) — instituição que tem como finalidade regular o estoque de alimentos, auxiliar a agricultura familiar e controlar oscilações de renda — mostram que o Brasil é o quarto maior exportador de mandioca na América Latina. O Estado de São Paulo, por sua vez, apresenta uma área plantada de 51 mil hectares, posicionando-se como o sexto maior produtor de mandioca do país.

Na região do Vale do Ribeira, localizada no sul do estado, encontra-se um número significativo de comunidades produtoras de mandioca, especialmente entre povos quilombolas, que cultivam e comercializam a produção de forma local. Essas comunidades estão distribuídas ao longo da Bacia do Rio Ribeira de Iguape, em áreas remotas e cobertas pela vegetação da Mata Atlântica, considerada um dos hotspots de biodiversidade do planeta. Desde os primórdios da ocupação, ainda no século XVIII, os quilombolas têm mantido uma relação histórica de dependência e sustentabilidade com o cultivo de alimentos essenciais, como arroz, milho, mandioca e feijão, garantindo sua subsistência e preservando práticas agrícolas tradicionais que reforçam o equilíbrio entre o homem e o meio ambiente. As bacterioses — doenças originadas por bactérias fitopatogênicas — ocupam posição de destaque entre as pragas agrícolas, sendo capazes de causar grandes prejuízos às lavouras quando não são rapidamente identificadas e controladas (Fialho; Pereira, 1999). Entre os diversos patógenos, destaca-se o *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis*, que atrai atenção significativa da comunidade científica em virtude de seu comportamento vascular e sistêmico, características que lhe conferem um alto potencial de causar danos severos às plantações de mandioca, especialmente em regiões tropicais. Essa bactéria tem despertado relevância científica mundial devido ao impacto direto que exerce sobre a produção alimentar e econômica (Mansfield et al., 2012).

Estudos indicam que a bactéria *Xanthomonas* afeta aproximadamente 30% da produção global de mandioca, podendo reduzir em até 70% o peso das raízes quando o controle da doença não é realizado adequadamente (Fialho; Pereira, 1999). Tais perdas representam um grave obstáculo à sustentabilidade agrícola e à segurança alimentar em diversas regiões produtoras. Um dos principais desafios enfrentados atualmente é a escassez de informações detalhadas sobre a incidência dessas bactérias, uma vez que, embora existam outros patógenos capazes de infectar a mandioca, a literatura científica ainda é limitada quanto à extensão e ao comportamento dessas infecções (Chaves et al., 2021). Com base nas pesquisas apresentadas, torna-se evidente a preocupação crescente com a ocorrência de bactérias em plantações agrícolas e seus impactos diretos na produção e na economia do setor. Com o objetivo de identificar a presença da bactéria e realizar o mapeamento de sua incidência, foi proposta a criação de um aplicativo apoiado em Redes Neurais Artificiais (RNA).

A Deep Learning, subárea da Inteligência Artificial, consiste em técnicas capazes de treinar redes neurais profundas para reconhecer padrões complexos e aprender continuamente a partir de grandes volumes de dados. Após o processo de treinamento, essas redes se tornam aptas a executar tarefas semelhantes às realizadas por seres humanos, como a análise e interpretação de imagens com alta precisão. Assim, o aplicativo desenvolvido tem como finalidade monitorar o estado das plantas de mandioca e identificar, com base em probabilidade, o grau de infecção pela bactéria *Xanthomonas*, fornecendo informações que auxiliem no controle e na prevenção da doença. Essa abordagem tecnológica representa um avanço significativo no monitoramento agrícola, contribuindo para minimizar perdas de produção, aumentar a eficiência no manejo de pragas e promover práticas agrícolas mais sustentáveis, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema baseado em Redes Neurais para identificar e mapear a infecção por *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis* em folhas de mandioca. Com base nesse objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos do projeto, que buscam detalhar as etapas e resultados esperados da pesquisa:

1. Desenvolver um sistema baseado em Redes Neurais capaz de realizar a detecção e classificação do grau de infecção das folhas de mandioca, utilizando técnicas de Deep Learning para análise de imagens com alta precisão.
2. Integrar os dados de infecção com informações geográficas, possibilitando o mapeamento da distribuição da bactéria na região do Vale do Ribeira e fornecendo subsídios para o monitoramento territorial da praga.
3. Desenvolver um aplicativo interativo, que permita aos usuários capturar ou enviar imagens das folhas e visualizar, de forma intuitiva, o grau de infecção detectado pelo sistema.
4. Fornecer informações estratégicas para o monitoramento e controle da bactéria em tempo real, contribuindo para a redução de danos nas plantações, a manutenção da produtividade agrícola e o suporte à tomada de decisão de agricultores e técnicos da região.

ESTADO DA ARTE

O uso de Inteligência Artificial para resolução de problemas complexos vem ganhando força no mundo inteiro. Entretanto, o uso de Redes Neurais pode resultar em custos reduzidos, especialmente quando se considera que apenas um dispositivo móvel, como um smartphone, é suficiente para a captura e análise de imagens. No artigo Utilização de IA para Controle de Pragas na Agricultura (Santos, 2022), observa-se o uso de Machine Learning. Esse projeto tem como objetivo utilizar soluções de Machine Learning para coletar e analisar imagens que mostram as condições das folhas da soja e identificar se há ou não alguma praga com base na imagem. Temos também *EfficientNet* é uma arquitetura específica de Redes Neurais Convolucionais (CNN) desenvolvida para otimizar o desempenho em tarefas de visão computacional. O projeto Método de detecção de doenças da mandioca baseado no *EfficientNet* utiliza esse mesmo método e se aprofunda no uso de métodos de aprendizagem profunda. O foco principal do projeto mencionado é categorizar doenças foliares usando imagens (Saini; Guleria; Sharma, 2023).

De forma semelhante, o projeto Classificação de doenças foliares de mandioca, orientado por Aprendizagem Profunda (Gao et al., 2021), propõe usar o espaço de cores HSV além do *EfficientNet* para realizar a tarefa de identificação da praga na plantação de mandioca. Converter imagens para o espaço HSV como parte do pré-processamento pode simplificar o treinamento de modelos de machine learning e *EfficientNet*, especialmente quando o modelo precisa aprender características específicas da cor. O Machine Learning mostrado anteriormente nos artigos demonstra ser uma boa opção quando se trata de avaliar imagens; porém, a Deep Learning possui uma maior capacidade de capturar padrões complexos. Sendo assim, o projeto Classificação de Bacteriose nas Folhas da Mandioca visa utilizar a Deep Learning para identificar a bactéria *Xanthomonas phaseoli*. Como existem diversas bactérias semelhantes a *Xanthomonas phaseoli*, a estrutura fornecida pela Machine Learning pode não ser suficiente para diferenciar essas formas da bacteriose, resultando em uma menor precisão na identificação. Portanto, a adoção de Deep Learning avançada se mostra essencial para aumentar a acurácia do diagnóstico, reduzir erros de classificação e fornecer dados confiáveis para o monitoramento das plantações. Esse enfoque permite intervenções mais rápidas e eficazes, contribuindo para a preservação da produtividade agrícola e para o manejo sustentável das culturas

de mandioca. Além disso, a aplicação dessa tecnologia auxilia pesquisadores e agricultores a entender melhor a dinâmica da doença, identificando padrões de disseminação e permitindo estratégias preventivas mais eficientes, o que representa um avanço significativo para a ciência agrícola e para a segurança alimentar.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto será realizado por meio da aplicação de técnicas de Inteligência Artificial e Deep Learning, com o objetivo de identificar a bactéria *Xanthomonas phaseoli* em folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Para isso, serão utilizadas imagens reais obtidas em campo, complementadas por imagens geradas por IA, representando folhas sádias, levemente infectadas e gravemente infectadas, formando um conjunto de dados diversificado e equilibrado, capaz de reconhecer diferentes padrões de infecção em condições variadas. Todas as imagens passarão por um processo detalhado de padronização e ajuste de cores, utilizando o espaço de cor HSV, para facilitar a identificação visual dos sintomas bacterianos e reduzir variações de iluminação ou contraste que possam comprometer o desempenho do modelo. O sistema será treinado para analisar as imagens e identificar o grau de infecção com base em probabilidades, aplicando técnicas de aumento de dados (data augmentation), incluindo rotações, cortes, alterações de brilho e contraste, garantindo que o modelo consiga identificar corretamente diferentes tipos de folhas e múltiplas situações de infecção. Após o treinamento, o modelo será testado com novas imagens para avaliar sua capacidade de generalização e precisão na detecção da bactéria.

Os resultados obtidos serão integrados em um aplicativo baseado em Redes Neurais, utilizando Deep Learning para identificar e prever a ocorrência da bactéria em plantações de mandioca a partir de fotografias. O aplicativo permitirá que os usuários capturem imagens em tempo real ou enviem imagens armazenadas em seus dispositivos, exibindo de forma clara e intuitiva o grau de infecção detectado. Um sistema de mapeamento georreferenciado será implementado para identificar as áreas mais afetadas, possibilitando intervenções direcionadas e monitoramento contínuo das plantações, contribuindo para um manejo mais eficiente da doença. O armazenamento estruturado dos dados permitirá acompanhar a evolução da bactéria ao longo do tempo, fornecendo informações detalhadas que auxiliem em decisões estratégicas para o controle da doença, minimizando perdas agrícolas e promovendo a sustentabilidade da produção de mandioca.

Uma maneira de exemplificar melhor a nossa metodologia é através do banco de dados, que será dividido em três etapas: Banco de dados Conceitual, Lógico e Físico. O banco de dados Conceitual é a representação inicial dos dados, onde são definidos os principais elementos e suas relações, sem se preocupar com detalhes técnicos. Já o banco de dados Lógico é a tradução do modelo conceitual para um formato mais estruturado, considerando as regras e restrições do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) escolhido. Por fim, o banco de dados Físico é a implementação real do banco de dados no SGBD, incluindo a criação das tabelas, índices e outros objetos necessários para armazenar e gerenciar os dados.

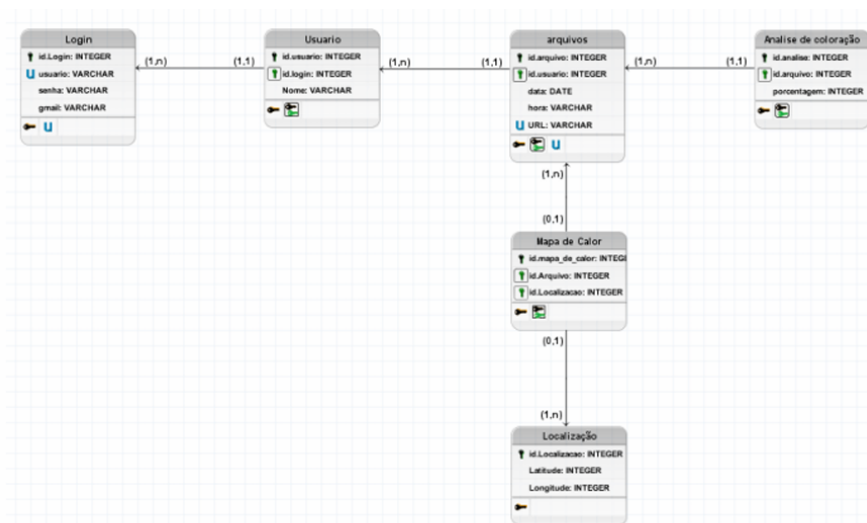


Figura 1 – Exemplo do banco de dados Lógico

Exemplo do Banco de dados Conceitual mostrado na próxima figura:

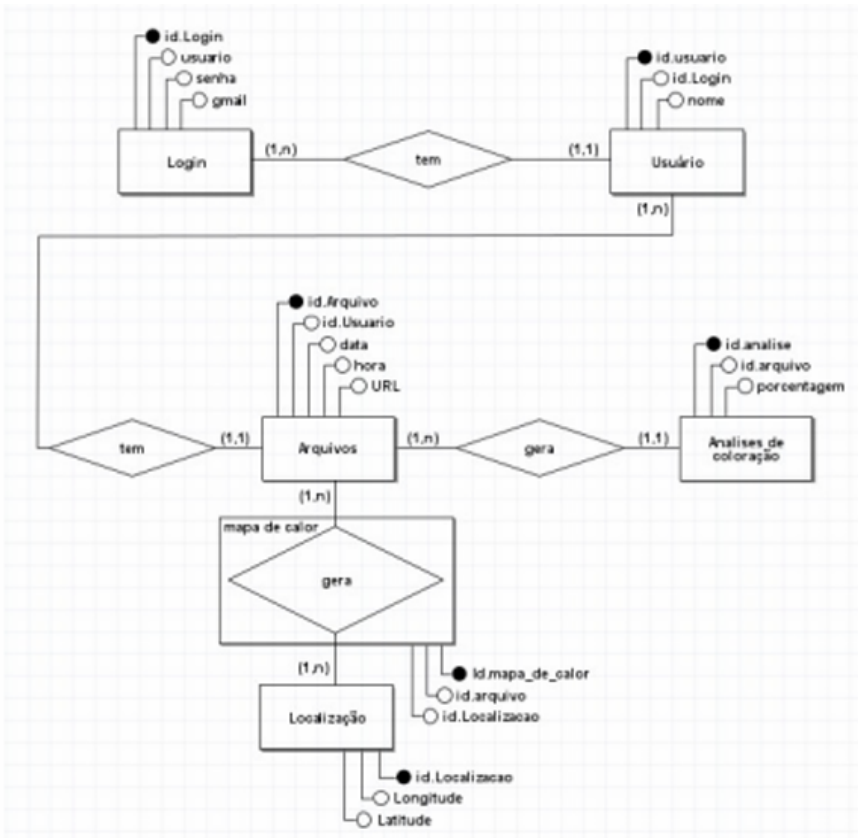


Figura 2 – Exemplo do banco de dados Conceitual

Sobre a conexão do aplicativo com o banco de dados utilizaremos o RDP da AWS ele refere-se ao Remote Desktop Protocol (Protocolo de Área de Trabalho Remota) utilizado para acessar instâncias Windows na AWS (Amazon Web Services) — geralmente instâncias EC2 (Elastic Compute Cloud). Ele é um protocolo desenvolvido pela Microsoft que permite conectar-se graficamente a outro computador pela rede. Ou seja, você vê e controla a área de trabalho do servidor remoto como se estivesse sentado na frente dele. Na AWS, o RDP é usado principalmente para acessar instâncias EC2 que executam o Windows Server. O EC2 da AWS é um dos principais serviços da AWS (Amazon Web Services) e serve para criar e gerenciar servidores virtuais na nuvem.

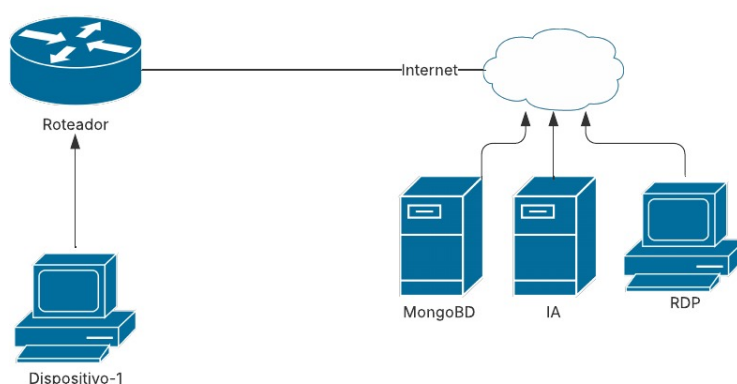


Figura 3 – Exemplo do Escopo de Redes

REFERÊNCIAS

- CHAVES, Carlos A. Zárate et al. Cassava diseases caused by *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis* and *Xanthomonas cassavae*. In: PLANT Pathology. [S. l.]: Wiley, 2021. Acesso em: 21 out. 2025. p. 1520–1537.
- FIALHO, Josefino de Freitas; PEREIRA, Ailton Vitor. **Importância do controle da bacteriose na cultura da mandioca**. [S. l.]: MAPA, 1999. p. 1–2. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/555046/1/gtec32.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.
- GAO, Fei et al. Cassava disease detection method based on EfficientNet. In: 7TH International Conference on Systems and Informatics (ICSAI). [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–6. DOI: 10.1109/ICSAI53574.2021.9664101. Disponível em: %5Curl%7Bhttps://doi.org/10.1109/ICSAI53574.2021.9664101%7D .
- MANSFIELD, John et al. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, p. 614–629, 2012. Acesso em: 21 out. 2025.
- Mudanças climáticas e os desafios no campo. Edição: Carla Rossini. **Revista Canavieiros**, Editora Expressão, p. 86–93, 2024. Acesso em: 21 out. 2025.

SAINI, Archana; GULERIA, Kalpna; SHARMA, Shagun. Cassava Leaf Disease Classification Using Pre-Trained EfficientNet Model. In: PROCEEDINGS of the 2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS). [S. l.: s. n.], 2023. p. 1–6. Acesso em: 23 out. 2025. DOI: 10.1109/ICSSAS57918.2023.10331697.

Disponível em: %5Curl%7Bhttps://www.researchgate.net/publication/376298315_Cassava_Leaf_Disease_Classification_Using_Pre-Trained_EfficientN_Et_Model%7D

SANTOS, João. Utilização de Inteligência Artificial para Controle de Pragas na Agricultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 45–52, 2022. Acesso em: 23 out. 2025. DOI: 10.5281/zenodo.1234567.

Disponível em: %5Curl%7Bhttps://repositorio.aee.edu.br/jspui/bitstream/aee/20825/1/TCC2-Utilizacao-de-IA-para-Controle-de-Pragas.pdf%7D