

IDENTIFICAÇÃO E DIAGNÓSTICO DO CANCRO CÍTRICO E DA LEPROSE NO LIMÃO TAITI ATRAVÉS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

MORAES. C¹, CHAVES. I², DIEGUES. M³, MENDONCA. R⁴

¹Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Registro

caio.moraes @fatec.sp.gov.br

isabela.pedroso @fatec.sp.gov.br

matheus.diegues @fatec.sp.gov.br

ruth.mendonca @fatec.sp.gov.br

Abstract. *The Citrus Canker is a bacterial disease that drastically affects the production and export of Tahitian lemons, manifesting itself in both the leaf and the fruit of the lime. If the lemon tree is infected, it needs to be eradicated, as well as neighboring plants, which consequently has an impact on production. Leprosis is a viral pathology that can reduce the lifespan of the orchard and other plants in the fertile soil.*

Both diseases affect citrus fruits and influence the development of the fruit, which leads to production losses. This project focuses on the Tahiti lemon. Early identification of these diseases is extremely crucial, so that action can be taken as soon as possible to prevent transmission to neighboring lemon trees.

This study proposes the development of an application that can identify these diseases from the peel of the fruit with the help of Artificial Intelligence through image processing and analysis techniques using Deep Learning in conjunction with Artificial and Convolutional Neural Networks to detect, classify and recognize these diseases. According to the preliminary results achieved, the main functionalities of the system and its interface have been identified. In addition, this study shows potential in contributing to the early identification of diseases, thus reducing production losses.

Keywords: *Early identification. Tahiti lemon. Citrus canker. Leprosis. Artificial Intelligence. Image analysis. Deep Learning. Artificial Neural Networks. Convolutional Neural Networks.*

Resumo. *O Cancro Cítrico é uma doença bacteriana a qual afeta bruscamente a produção e exportação do limão-Taiti, manifestar-se tanto na folha quanto no fruto da lima. O limoeiro, caso infectado, se faz necessário a sua erradicação e a de plantas vizinhas, o que consequentemente gera impacto na sua produção. A Leprose trata-se de uma patologia viral que pode acarretar em redução da vida útil do pomar e de outras plantas do solo fértil.*

Ambas as doenças afetam as frutas cítricas e influenciam no desenvolvimento do fruto, o que gera perdas de produção, esse projeto foca no cítrico Limão Taiti. A identificação precoce destas é extremamente crucial, para que ações sejam tomadas o quanto antes, para evitar a transmissão aos limoeiros vizinhos. Este estudo propõe o desenvolvimento de uma aplicação que possa identificar essas doenças pela casca do fruto com o auxílio da Inteligência Artificial por meio de técnicas de processamento e análise de imagem utilizando a Aprendizagem Profunda em conjunto de, Redes Neurais: Artificial e Convolucionais para detecção, classificação e reconhecimento destas doenças. Conforme os resultados preliminares alcançados percebeu-se quais serão as principais funcionalidades do sistema e a sua interface. Além de que este estudo demonstra potencial em contribuir para a identificação prévia das doenças assim, reduzindo as perdas de produção.

Palavras-chave: *Identificação precoce. Limão Taiti. Cancro Cítrico. Leprose. Inteligência Artificial. Análise de imagem. Aprendizagem Profunda. Redes Neurais Artificiais. Redes Neurais Convolucionais.*

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU), fundada em 1945, tem como objetivo promover a cooperação internacional entre os países, focando-se nos direitos humanos, desenvolvimento econômico e segurança mundial. Durante as últimas décadas, a ONU expandiu seus horizontes para problemas atuais, impulsionada pela necessidade de abordar assuntos como a segurança e mudanças para garantir desenvolvimento sustentável no planeta, como a criação da Agenda 2030, que consiste em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Este projeto busca interconectar os objetivos da organização com este trabalho, aliando-se especificamente à meta doze, que visa garantir padrões de consumo e produção sustentáveis. Isso implica em promover a eficiência no uso de recursos, reduzir o desperdício e minimizar os impactos ambientais ao longo de toda a cadeia de produção e consumo. A ODS 12 busca uma gestão responsável dos recursos naturais, se interconectando com o objetivo do sistema, que é auxiliar na produção sustentável dos agricultores do limão-Taiti no estado de São Paulo.

Economicamente, o limão-Taiti vêm se destacando no segmento de produção de frutas tropicais e subtropicais, não só para o limão-Taiti, mas também para outras frutas cítricas da mesma família. O Taiti oferece também vários benefícios à saúde, como fortalecimento da imunidade, ajuda a combater resfriados e gripes, combate o envelhecimento precoce, entre outros. Em suma, o limão-Taiti ascende não só como um fruto benéfico para a saúde, mas por seu gosto característico, o que contribui para sua rentabilidade comercial (1).

O estado de São Paulo é o maior produtor do limão-Taiti do Brasil, contribuindo

com cerca de 70% da produção da mesma em todo o país, ultrapassando 40 mil hectares plantados no ano de 1998, pela floração do limão-Taiti ocorrer durante praticamente o ano inteiro, o que possibilita alta rentabilidade durante seus períodos de pico de produção, geralmente entre janeiro e junho (2).

O limão-Taiti, cientificamente conhecido como *Citrus x Latifolia*, é um fruto híbrido advindo da lima-da-pérsia com o limão-cravo, motivo pelo qual, na realidade, é considerada uma lima ácida e não um limão. É um fruto de casca dura, lisa e rugosa, possuindo sabor notável por ser menos ácido quando comparado a outras espécies de limas e limões. Como a planta é mais adepta a crescer em regiões tropicais, necessita de umidade e luz natural para que consiga gerar frutos com suculência. O fato de não possuir sementes também contribui para seu valor de comercialização e até mesmo exportação (3).

Por ser um fruto considerado robusto, o limão-Taiti geralmente não precisa de agrotóxicos. Contudo, a exceção não se torna regra, já que existem doenças que acometem o cultivo desta lima. Serão abordadas duas destas doenças em específico, sendo o Cancro Cítrico e a Leprose.

Figura 1. Cancro Cítrico no fruto



Fonte: BEHLAU AND BELASQUE, 2014

O Cancro Cítrico afeta bruscamente a produção e exportação do limão-Taiti, por manifestar-se tanto na folha quanto no fruto da lima, causadas pela bactéria *Xanthomonas axonopodis*. Sua contaminação é rápida e contundente, fazendo-se necessária a remoção

e erradicação de pomares próximos num raio de 30 metros, ou até mesmo múltiplas pulverizações de plantas afetadas, aumentando o custo da manutenção dos pomares do fruto, fazendo-se subir também, como consequência, o valor final pago pelo consumidor (4).

Figura 2. Leprose no fruto



Fonte: BEHLAU AND BELASQUE, 2014

Já a leprose no limão-Taiti é causada pelo ácaro *Tenuipalpidae*, que carrega o vírus desencadeador dessa doença, conhecido como *leprosis virus*, que causa grandes perdas de produção e rentabilidade da produção dos pomares da lima, reduzindo a vida útil das plantas em solo fértil, colocando seus ovos em folhas e outros lugares protegidos dos pomares. O ataque intenso da Leprose no pomar pode causar grande queda de folhas, seca e/ou queda de frutos, queda de ramos, entre outros (5). A desinfecção de toda a plantação periodicamente contribui fortemente para evitar este tipo de doença nos citros em geral, mas especialmente no limão-Taiti (6).

Trazendo estes conteúdos à tona, pode-se identificar que as doenças citadas anteriormente que estão relacionadas com os pomares e plantações do limão-Taiti são identificáveis por sinais que costumam aparecer majoritariamente no fruto da lima. O objetivo do projeto é propor uma forma de identificar estas doenças por uso de Inteligência Artificial (IA), sendo utilizado do aprendizado supervisionado e treinamento dessa IA para que consiga identificar com facilidade as duas doenças em questão nos pomares, a fim de promover um cultivo próspero, rentável e saudável do limão-Taiti, tendo como foco a

área do estado de São Paulo. Uma IA é um tipo de inteligência produzida pelo homem, criada para beneficiar as máquinas com a habilidade de pensar similar à da humanidade, compreendendo sua linguagem, raciocínio, métodos de aprendizado, etc. Quando a IA possui dados e exemplos suficientes acerca do assunto, ela passa a conseguir identificar por si só sinais demonstrados nos frutos, o que facilita o processo de cultivo saudável dos pomares, evita a infecção de outros e mantém a saúde geral da plantação. Os métodos utilizados serão de Aprendizagem Profunda e Visão Computacional, fornecendo e atualizando dados referentes às doenças e a fruta, para que seja possível a identificação e diagnóstico realizado pela IA treinada (7).

A Aprendizagem Profunda e a Visão Computacional são campos da inteligência artificial que têm impactado diversos setores profissionais. A aprendizagem profunda, baseada em redes neurais profundas, possibilita que os sistemas aprendam com dados complexos, enquanto a visão computacional se concentra na interpretação de informações visuais em imagens e vídeos. Ambos os campos dependem das redes neurais, que são redes de unidades de processamento interconectadas, inspiradas no cérebro humano, capazes de identificar padrões e características em dados. As redes neurais desempenham um papel essencial na capacidade de sistemas realizarem tarefas sofisticadas e têm impulsionado avanços tecnológicos e aplicações práticas em diversos domínios profissionais.

Isto posto, a abordagem proposta neste projeto representa um grande passo em direção a um cultivo mais saudável e eficiente deste produto no segmento da agricultura. Com a demanda do limão-Taiti crescendo nos últimos anos e a necessidade de extermínio destas doenças dos pomares, a aplicação da Inteligência Artificial é de suma importância para oferecer uma proposta de solução promissora na área com uso da capacitação da IA desenvolvida com dados detalhados e relevantes para detecção precisa e eficiente os sinais das doenças nos frutos. Em uma análise, de modo geral, aliar a tecnologia a agricultura pode ser amplamente benéfico para garantir uma produção sustentável e estável do limão-Taiti em sua maior qualidade. Em uma análise, de modo geral, aliar a tecnologia a agricultura pode ser amplamente benéfico para garantir uma produção sustentável e estável do limão-Taiti em sua maior qualidade.

OBJETIVO

Atualmente, a principal forma de pré-diagnóstico de doenças no limão é realizada a partir de análises feitas nas folhas, na casca e no próprio fruto. As doenças que serão estudadas levam ao aparecimento de pequenas lesões escuras na superfície dos frutos, que podem evoluir formando pústulas.

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema de auxílio ao diagnóstico da Leprose e do Cancro Cítrico, mediante a realização do pré-diagnóstico da doença, a partir

das imagens das manchas retiradas pelo próprio agricultor, e o sistema por meio do uso de IA estabelecerá a probabilidade da mancha ser uma dessas doenças. O projeto tem ainda como objetivos específicos:

a) Desenvolver um algoritmo de aprendizagem profunda baseado em técnicas como Redes Neurais Convolucionais para o reconhecimento preciso das enfermidades.

b) Realizar uma pesquisa abrangente sobre as principais doenças no limão Taiti, incluindo a coleta de informações detalhadas sobre os sintomas e características de cada enfermidade.

c) Facilitar o pré-diagnóstico das enfermidades através do modelo de IA treinado, tornando o agricultor o agente principal do processo.

ESTADO DA ARTE

No estado da arte, serão introduzidos alguns projetos semelhantes, com o objetivo de facilitar a compreensão e realização do tema. O qual consiste em três partes principais: o estudo sobre a utilização de técnicas de processamento de imagens, reconhecimentos de padrões e a utilização de outro tipo de rede neural para classificar as doenças dos citros.

O trabalho de (8) foca na diferenciação de doenças foliares, o *greening*, sendo a doença protagonista, é conhecida como a mais grave dos citros no mundo, principalmente por não possuir cura ou tratamento. Seu sintoma visualmente mais característico é apresentado nas folhas, como manchas de formas irregulares mescladas e verde amareladas, identificáveis na folha verde. Os métodos para a identificação incluem: inspeção visual, na qual são efetuadas pelos inspetores caminhando ou em plataformas movidas a trator. Portanto, sua eficácia varia conforme o conhecimento e experiência na detecção e análise da *Polymerase Chain Reaction* (PCR), onde é realizado o diagnóstico de plantas que apresentam indícios da doença. Porém, este método possui um custo elevado, o que resulta em menor utilização deste método.

Em virtude disso, técnicas de processamento de imagens foram aplicadas em folhas de citros digitalizadas, para a diferenciação do *greening* de outras pragas. A metodologia possui três etapas principais: aquisição de imagens, extração de características e classificação. Na primeira etapa, as folhas com indicativos de sintomas são digitalizadas. Na etapa seguinte, há processo de segmentação de imagens, usando do envolvimento da utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) do tipo *Perceptron Multicamada* (PMC) com descritores de forma, que foi treinada para reconhecer as diversas cores encontradas nas imagens, usando como parâmetros de entrada os componentes de cor RGB¹. Através desta segmentação, podendo extrair descritores de forma, incluindo área, perímetro, cir-

¹ Padrão de cor Red, Green e Blue com base de criação de cores-luz, ou seja, pela adição de luz.

cularidade e outros, a fim de caracterizar as manchas nas folhas. Na última etapa, a RNA é treinada para classificar as imagens em classes, o *Greening* e outras doenças. A classificação é determinada pelos descritores de cor e forma extraídos na etapa anterior. Através dos testes, descobriram que as classes Magnésio, Zinco e *Greening* obtiveram o maior percentual de precisão com 83,33% de acerto e que para melhorar a distinção entre estas doenças, é essencial incorporar a combinação de distribuição das cores amarelo, verde e marrom.

No trabalho de (9), narra a incidência da mancha preta (doença causada pelo fungo *Guignardia citricarpa*, a qual afeta os citros), no estado de São Paulo no período de 1995 a 1997 na área destinada à produção em que aproximadamente 36% dos hectares estavam infectados. A doença é dissipada pelos esporos do fungo: os assexuais (conídios) e os sexuais (ascósporos), sendo capaz de infectar os frutos da mesma planta ou as do seu redor com o auxílio do vento. Visto isso, a detecção rápida é essencial, para identificar a presença de possíveis esporos, através da coleta de partículas suspensas em um pomar, que serão aspiradas por um caça-esporo, em seguida depositadas em um disco coletor. Então, os discos são analisados de forma visual por um microscópio. Visto isso, (9) tem como objetivo automatizar a identificação da presença dos esporos do fungo *Guignardia citricarpa* em citros antes mesmo dos sintomas aparecerem. O sistema denominado *CitrusVis* consiste das seguintes etapas: coleta e aquisição das imagens, segmentação da imagem, segmentação da imagem, identificação dos ascósporos.

Na coleta e aquisição das imagens, são feitas por meio dos discos de coleta e de câmera digital juntamente de um microscópio convencional (imagem no formato JPEG, com resolução de 640 x 512 pontos). Já em segmentação da imagem, sendo a etapa de maior importância no decorrer do trabalho dado que, as etapas seguintes dependem do bom resultado desta. Diante disso foi aplicado o método capaz de converter imagens em tons de cinza para imagens preto e branco (binárias). Em análise e extração de características, a informação fundamental a ser extraída das partículas é o contorno paramétrico, técnica utilizada para extrair os contornos dos esporos do fungo *Guignardia citricarpa* nas imagens adquiridas dos discos de coleta. Durante a extração do contorno, se realiza uma pré-seleção das amostras por meio do perímetro, ou seja, somente as partículas com perímetro dentro do intervalo definido são consideradas para a análise. Em seguida, o algoritmo seguidor do contorno é aplicado para extrair o contorno paramétrico das partículas selecionadas; Por fim, na identificação dos ascósporos, são aplicadas técnicas de reconhecimento de padrões para identificar os esporos sexuais do fungo *Guignardia citricarpa*. Para isso, é utilizada a técnica de Rede Neural Artificial, que emprega uma rede feed-forward backpropagation com 60 entradas, duas camadas intermediárias, com 20 e 15 neurônios cada uma, e a camada de saída com dois neurônios.

Essa rede é treinada com um conjunto de imagens de esporos e de outras partículas presentes nos discos de coleta, a fim de que ela possa identificar corretamente os ascósporos do fungo *Guignardia citricarpa*. Um dos neurônios da camada de saída representa a classe Ascósporos e, o outro, a classe Não-Ascósporos, indicando o de maior valor a decisão da rede sobre a classe a qual o padrão analisado pertence.

(10) destaca que recentemente, foi feita uma proposta para o uso de Visão Computacional e Aprendizagem Profunda, com o objetivo de detectar e classificar imagens de frutas em RGB, a fim de fornecer informações nutricionais precisas baseadas em tabelas de composição alimentar de referência. A autora desenvolve um modelo inteligente para detecção e classificação de frutas em imagens RGB, utilizando redes neurais convolucionais (CNN, do inglês *Convolutional Neural Network*) e Deep Learning. Uma CNN é capaz de reconhecer um objeto realizando uma procura primeiro por características de baixo nível: bordas, linhas e curvas. Em seguida constrói propriedades mais abstratas de uma série de camadas convolucionais. O modelo do trabalho da autora foi implementado na linguagem *Python*, no ambiente *Google Colaboratory*, com o suporte das bibliotecas: *openCV*, *Keras*, *Numpy*, *Matplotlib* e *Pillow/PIL*. Os resultados mostraram que o modelo é eficaz visto que demonstrou uma taxa de acerto de 95,5% na detecção de bananas, 96,7% na detecção de maçãs e 97,5% na detecção de laranjas.

De acordo com revisão da literatura de alguns trabalhos que se assemelham com a proposta deste projeto, no caso de Ribeiro e Pazoti, os quais fazem uso de técnicas de processamento de imagens e de reconhecimento de padrões com a Rede Neural Artificial para detecção e identificação precoce de doenças em plantas cítricas, o que neste projeto será em citros específicos, ou seja, no limão-Taiti: Cancro Cítrico e da Leprose (8) e (9).

Também destaca-se o uso de tecnologias avançadas, como redes neurais convolucionais (CNN), para tarefas de detecção e classificação. Portanto, neste projeto, serão reutilizados alguns conceitos dos artigos e materiais citados, como as técnicas de processamento de imagem, fazendo da utilização do RNA para detectar e identificar precocemente as doenças em questão, além do uso de CNN a fim de realizar o reconhecimento das características destas doenças (10).

METODOLOGIA

Neste projeto, adotaram-se uma série de ferramentas e técnicas para auxiliar no desenvolvimento do aplicativo. Estas abordagens incluem o uso do Figma (11), uma plataforma colaborativa para design de interfaces e protótipos, do Modelo de Negócios Canvas (12), uma ferramenta de planejamento estratégico, da linguagem de modelagem UML *Unified Modeling Language* (13) e do DER (Diagrama de Entidade e Relacionamento) (14).

A ferramenta Figma é uma plataforma colaborativa para construção de design de interfaces e protótipos, pertencente à empresa Figma, Inc. O Figma será utilizado como uma ferramenta de design colaborativa para criar os protótipos da interface do usuário do aplicativo, o que permitirá que a equipe de design trabalhe em conjunto e obtenha feedback em tempo real. Por consequência, isso garantirá que a interface do usuário seja intuitiva e esteticamente agradável. (11)

A metodologia Kanban é fundamental para uma eficaz gestão de projetos, oferecendo uma abordagem simples, eficiente e direta na administração de demandas (15). Considerado evolucionário, este método proporciona uma perspectiva mais ativa e construtiva para a resolução de tarefas. Popularmente adotado, o Kanban ultrapassou as fronteiras do tradicional quadro branco pendurado nas salas e escritórios (16).

Essa abordagem não se restringe apenas ao uso de um quadro branco. O Kanban, também conhecido como *Work In Progress* (WIP), constitui um sistema visual de gestão de trabalho. Ele utiliza quadros com colunas para representar o fluxo de trabalho, sendo cada tarefa representada por um cartão que se move entre as colunas, indicando seu status atual. Esse sistema permite limitar a quantidade de trabalho em andamento em cada etapa, facilitando o controle e a visualização do progresso das tarefas.

O Kanban, ao ajudar as equipes a organizar e priorizar o trabalho, identificar gargalos e promover a colaboração, contribui para melhorar a eficiência geral do processo de trabalho. Trata-se de uma metodologia ágil que oferece transparência, flexibilidade e foco na entrega contínua de valor, sem redundância de termos.

O Modelo de Negócios (Canvas) é uma representação detalhada e abrangente de como uma empresa opera, gera receita e cria valor para seus clientes (12). No qual são descritos os principais elementos e componentes que compõem a estrutura do negócio, fornecendo uma visão clara e organizada de como a empresa funciona. O Canvas será usado para criar um modelo visual que descreve como o projeto se encaixa no contexto do mercado de citrus, a fim de auxiliar a equipe na identificação de parceiros-chave, recursos-chave, atividades-chave e fontes de receita, para garantir que o projeto esteja alinhado com os objetivos científicos e de negócios.

A *Unified Modeling Language* (UML), ou seja, Linguagem de Modelagem Unificada, é uma linguagem visual utilizada para modelar e representar sistemas de *software* (13). Será realizado um estudo de caso usando a linguagem de modelagem UML para representar os principais elementos do sistema, como os componentes da interface do usuário, o fluxo de informações e as interações entre os diferentes módulos do aplicativo. Isso ajudará na compreensão e documentação da arquitetura do sistema.

O Diagrama de Entidade e Relacionamento (DER) é uma ferramenta empregada

na modelagem de dados para representar entidades, atributos e relacionamentos em um sistema (14): em qual cada entidade possui atributos, sendo suas características ou propriedades que permitem descrever a entidade. Os relacionamentos representam as conexões ou associações entre as entidades. O DER será utilizado para modelar a estrutura de banco de dados do aplicativo, definindo as entidades (como doenças, análises e usuários etc.) e os relacionamentos entre elas. Isso será essencial para o armazenamento e recuperação eficientes de dados relacionados às doenças e às imagens associadas.

RESULTADOS PRELIMINARES

A seção de resultados, como o próprio nome sugere, tem como propósito central revelar as conclusões e descobertas obtidas durante o curso da pesquisa. Neste segmento do artigo, o autor irá apresentar, detalhadamente, os dados relevantes coletados e posteriormente sintetizados. Aqui, os resultados serão desvendados e interpretados, contribuindo para o entendimento mais aprofundado das implicações da pesquisa e proporcionando insights valiosos que sustentam a base do estudo.

Protótipo do Sistema

A (Figura 3) representa a tela inicial da aplicação móvel, para a qual o agricultor será redirecionado após a conclusão da verificação dos dados fornecidos. Nesta interface, o agricultor terá à disposição uma variedade de recursos, incluindo ferramentas que fornecem estatísticas detalhadas sobre a saúde de seu pomar. Além disso, a principal funcionalidade desta tela é facilitar o envio de fotografias, marcando o início do processo de análise e pré-diagnóstico de Cancro Cítrico e Leprose. Um gráfico informativo está presente na tela inicial, exibindo os resultados das análises realizadas durante um período específico e destacando os casos positivos e negativos de forma clara.

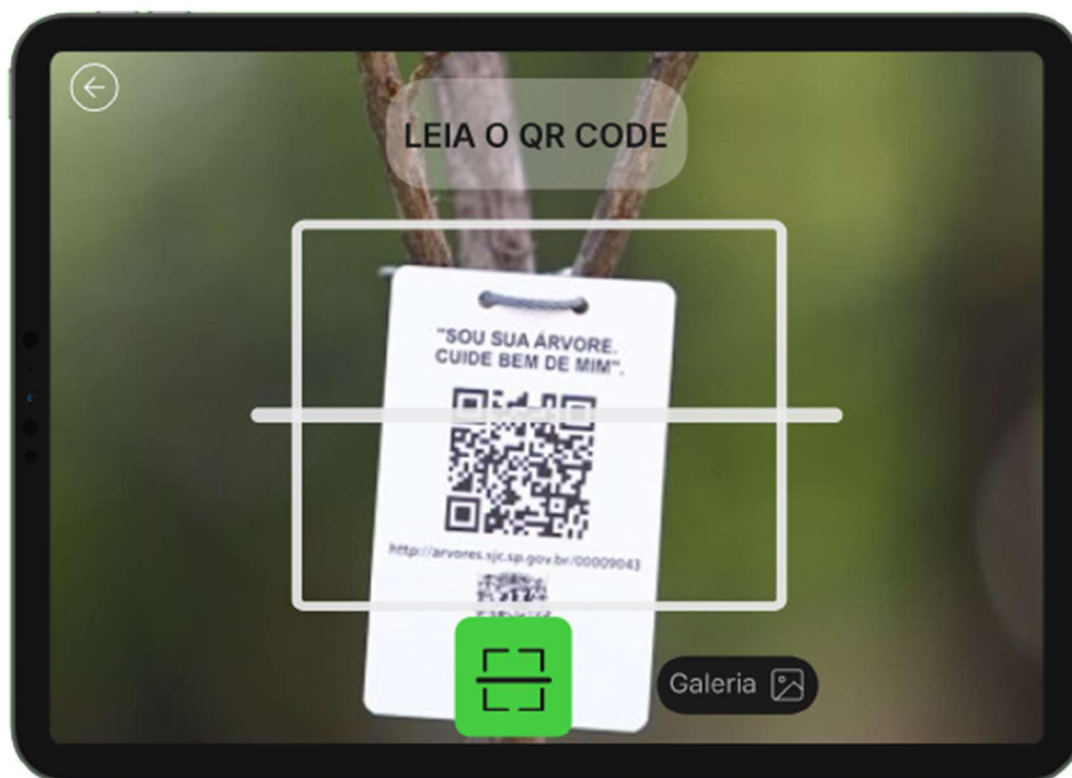
Figura 3. Menu



Fonte: Próprio Autor, 2023

Primeiramente, o usuário será direcionado para a (Figura 4), na qual ele lerá o QR Code (fornecido para ele na hora do cadastro), contido em seu limoeiro.

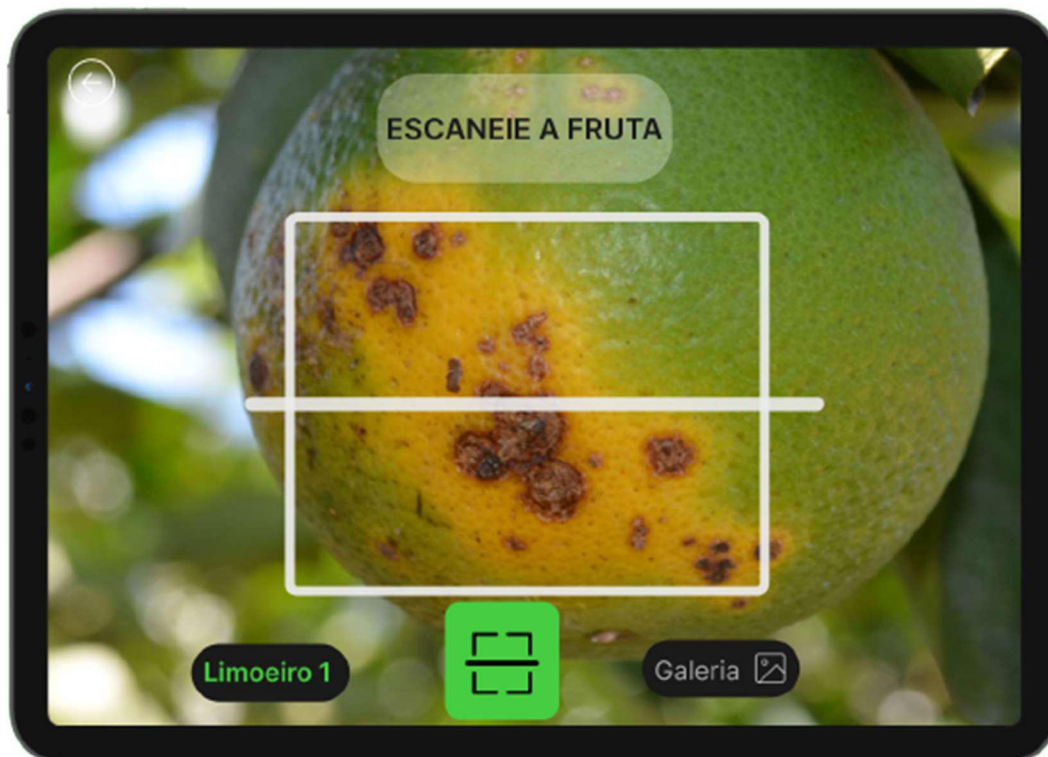
Figura 4. Leitura do QR code



Fonte: Próprio Autor, 2023

Em seguida, a (Figura 5), apresenta a interface utilizada para o envio das imagens iniciando o processo de pré-diagnóstico.

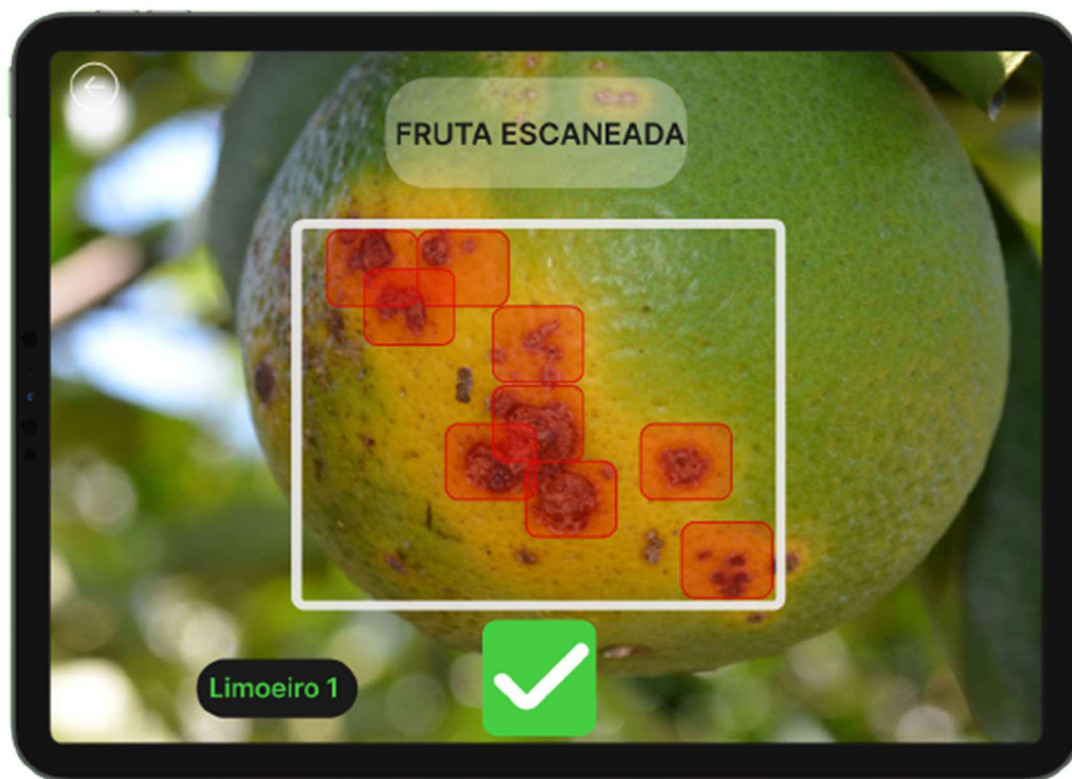
Figura 5. Escaneamento do fruto



Fonte: Próprio Autor, 2023

Depois do envio da imagem, o citricultor será redirecionado para a interface mostrada na (Figura 6), de modo que os pontos com a doença são detectados.

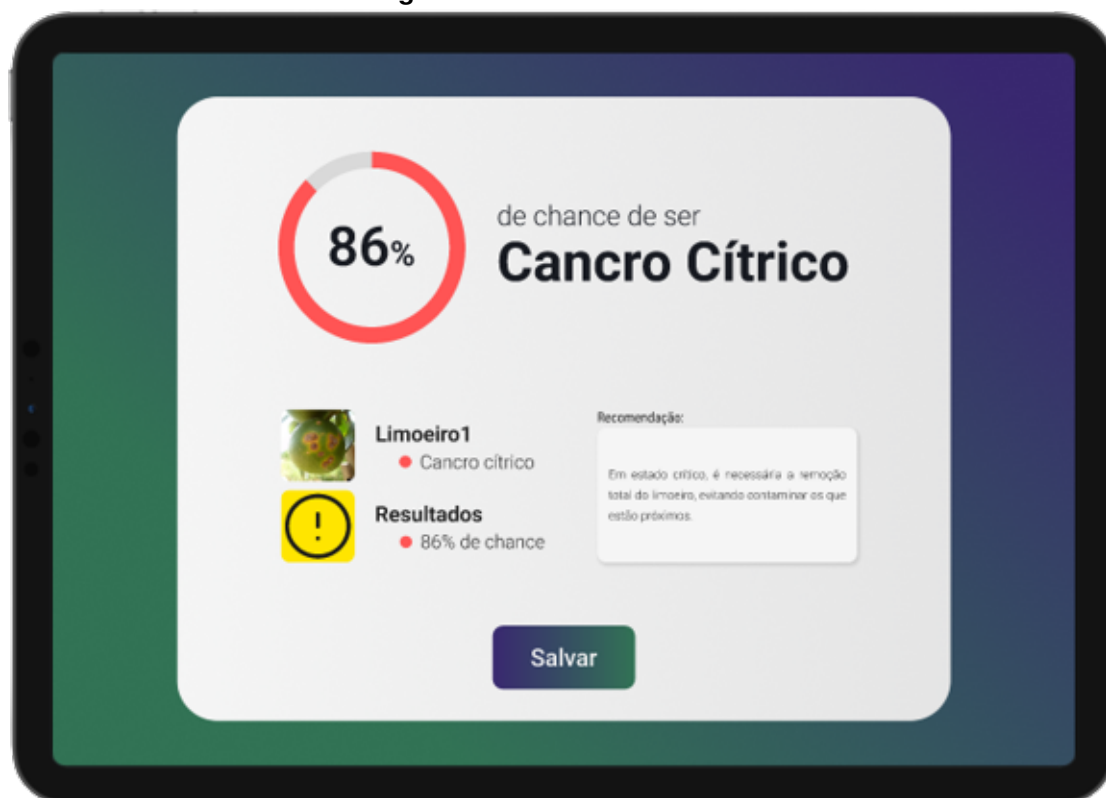
Figura 6. Escaneamento completo



Fonte: Próprio Autor, 2023

Após a conclusão do processo de análise das imagens, o agricultor é redirecionado para a interface exibida pela (Figura 7). Nessa interface, os resultados são apresentados de forma detalhada, informando a porcentagem de chance de ser determinada doença.

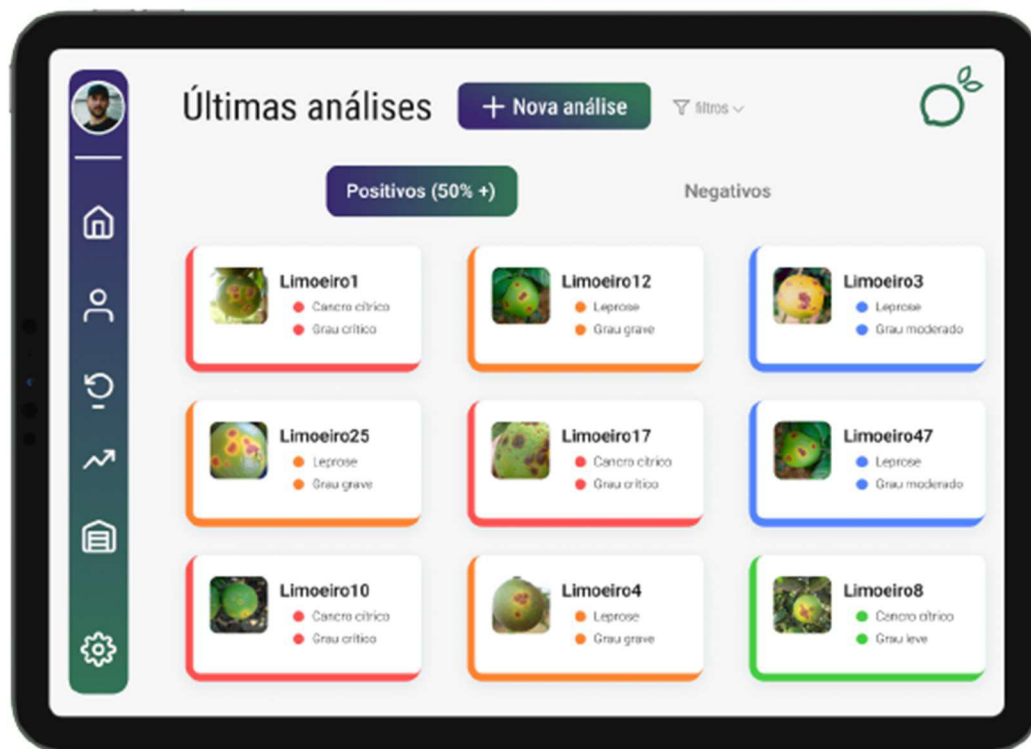
Figura 7. Resultado da análise



Fonte: Próprio Autor, 2023

A (Figura 8) apresenta a interface na qual o agricultor pode visualizar em detalhes todos os limoeiros que passaram por análise, identificando quais obtiveram pré-diagnóstico positivo para Cancro Cítrico ou Leprose.

Figura 8. Diagnósticos



Fonte: Próprio Autor, 2023

Para visualizar o diagnóstico ou obter mais informações sobre um limoeiro específico, o agricultor deve clicar em um dos blocos que contém o limoeiro desejado, redirecionando-o para a interface mostrada na (Figura 9), onde serão apresentadas todas as informações relacionadas ao mesmo.

Figura 9. Diagnóstico específico



Fonte: Próprio Autor, 2023

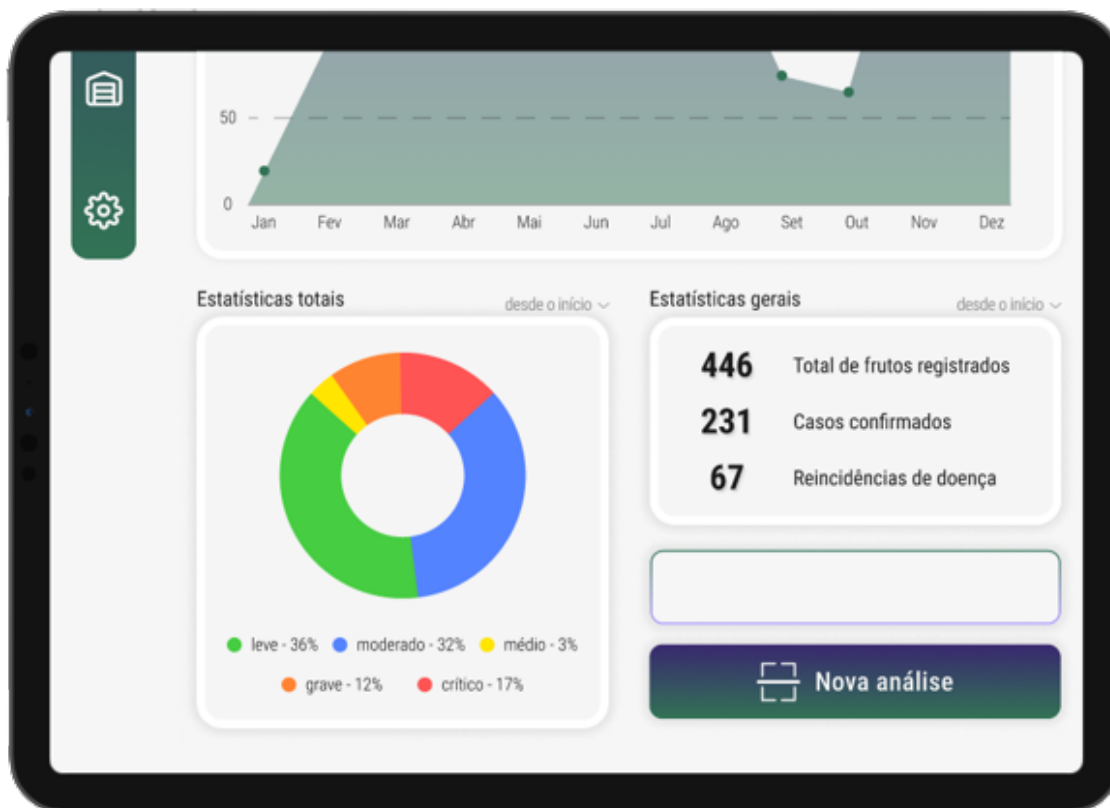
Para finalizar, a (Figura 10) e (Figura 11), ilustram a interface em que se pode visualizar minuciosamente as estatísticas de frutos positivos no pomar do agricultor em determinado tempo.

Figura 10. Estatísticas



Fonte: Próprio Autor, 2023

Figura 11. Estatísticas



Fonte: Próprio Autor, 2023

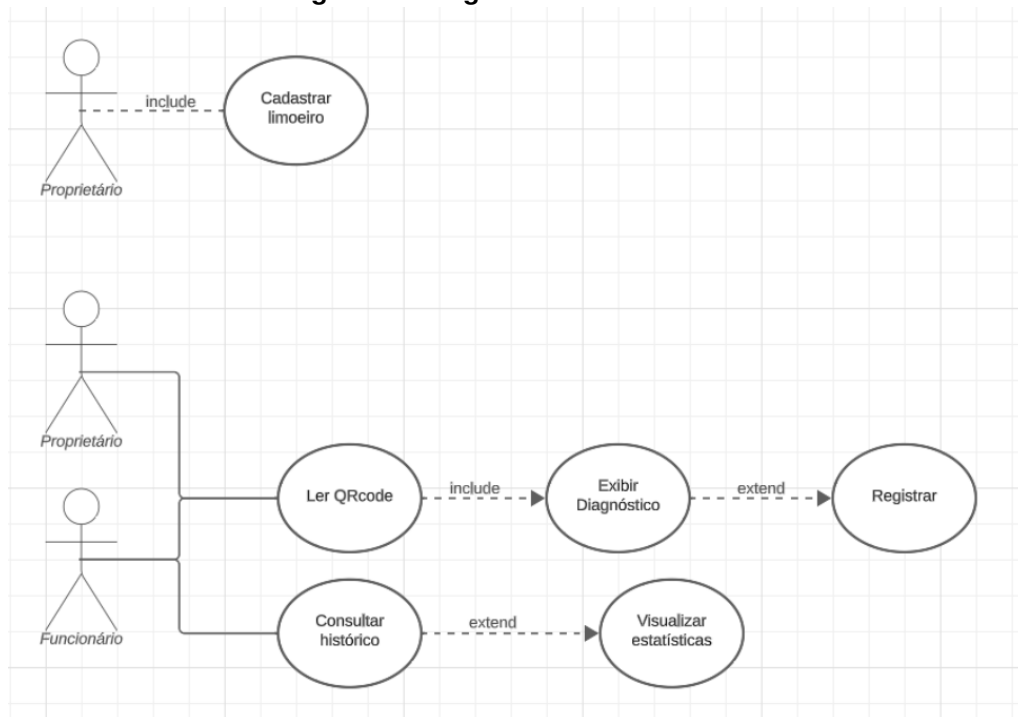
Diagrama de Caso de Uso

A representação gráfica do Diagrama de Caso de Uso (DCU) que é uma linguagem de modelagem unificada, é a ferramenta crucial para a compreensão do fluxo do sistema em fase de desenvolvimento. Nesse cenário, o agricultor, seja o proprietário do pomar, ou seu funcionário, desempenham um papel fundamental como os atores do sistema. Ao examinar o DCU com mais profundidade, torna-se claro que as atividades do agricultor abrangem desde a etapa inicial de registro do pomar até os processos que antecedem e sucedem a análise das imagens contendo as características distintivas das doenças.

Para garantir o correto funcionamento de todas as funcionalidades da aplicação, é necessário seguir uma ordem de processos. O proprietário do pomar deve cadastrar cada limoeiro no sistema, para que seja gerado um QR Code. Após isso, tanto o proprietário, quanto seus funcionários podem escanear o QR Code associado a um limoeiro específico, permitindo o envio das imagens contendo sinais das doenças características no fruto, para análise e a obtenção dos resultados do pré-diagnóstico. Esta funcionalidade é uma parte essencial do sistema, pois ela fornece estatísticas detalhadas sobre a saúde do limoeiro, incluindo dados sobre a(s) doença(s) e condição geral. Caso seja necessário, pode-se

optar por registrar essas informações. Isso é feito com a finalidade de possibilitar futuras consultas sobre todas as análises já realizadas em um determinado limoeiro, além de auxiliar no gerenciamento das questões de saúde das árvores.

Figura 12. Diagrama de Caso de Uso



Fonte: Próprio Autor, 2023

A (Figura 12) apresenta o Diagrama de Caso de Uso (DCU), que é uma ferramenta essencial para compreender o sistema em desenvolvimento. Nesse contexto, o agricultor desempenha o papel central como o ator. À medida que exploramos o DCU, fica evidente que as ações do agricultor abrangem as principais interações possíveis entre os atores (Proprietário e Funcionário) e o sistema de gerenciamento de limoeiro, desde o cadastro inicial de limoeiros até a consulta de informações e a visualização de estatísticas.

Diagrama de Entidade e Relacionamento

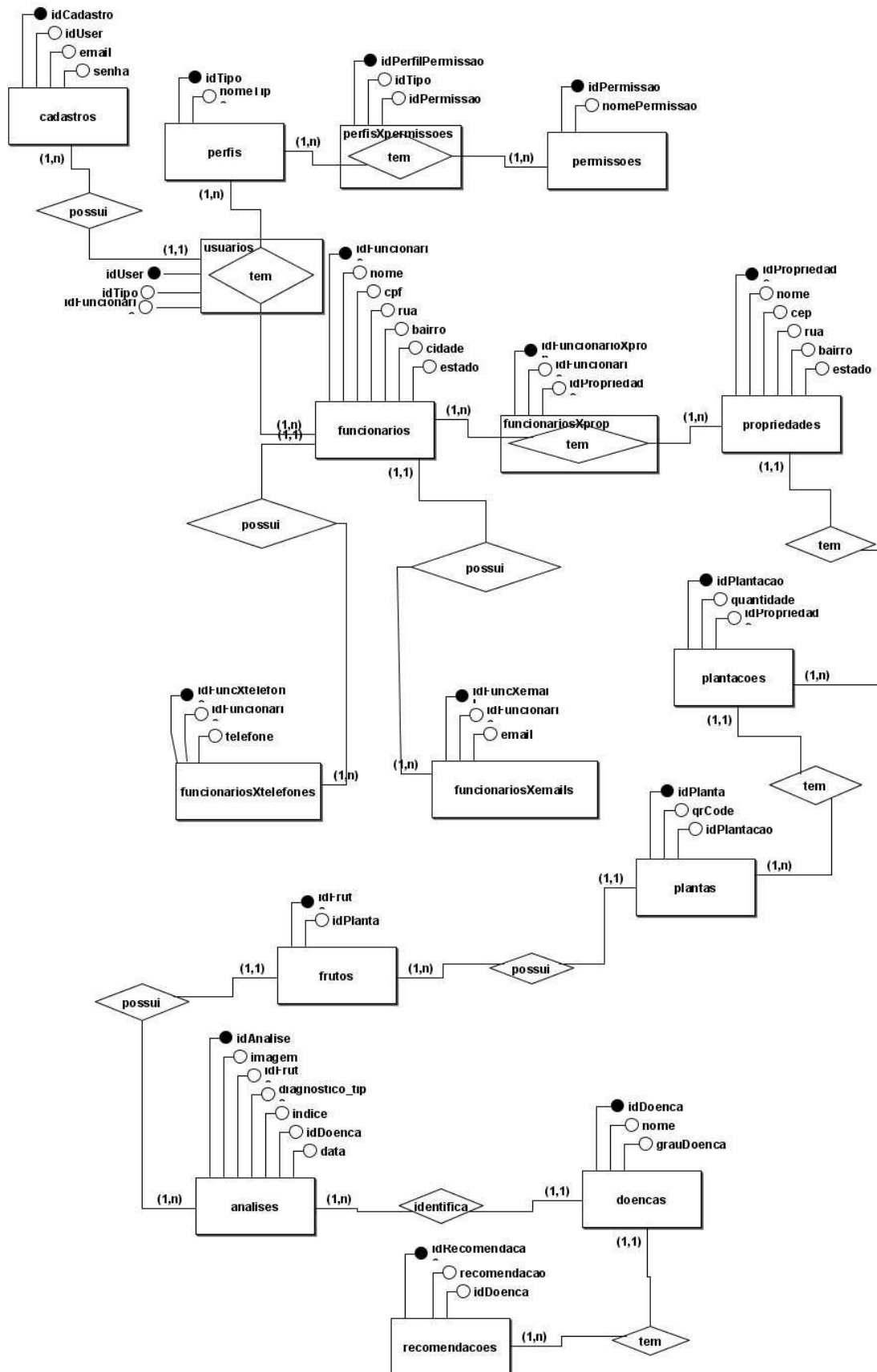
O DER nas (Figuras 13) como modelo conceitual e (Figura 14) no modelo lógico, representa de maneira mais detalhada o fluxo das ações do sistema e como elas se relacionam. É importante ressaltar a importância das seguintes entidades para o funcionamento do sistema: "frutos", "análises", "doenças" e "recomendações".

A entidade "frutos" possui apenas dois atributos: o identificador (ID) do fruto e o identificador da planta, estabelecendo a relação entre o fruto e o limoeiro. Na entidade "análises", são armazenadas informações vitais para o processo de análise de imagens

e registro do fruto analisado. Essas informações incluem a imagem da análise, o ID do fruto, se o fruto possui a doença ou não, o índice da doença (caso seja positivo) e a data da análise.

Na entidade "doencas", tem o ID de cada doença, seu nome (Cancro Cítrico ou Leprose) e o grau em que o fruto está no momento da leitura: leve, moderado, médio, grave ou crítico. Por fim, em "recomendacoes": seu ID e o da doença como chaves estrangeiras, além da recomendação que será fornecida de acordo com o grau em que a doença foi identificada.

Figura 13. Modelo conceitual



Fonte: Próprio Autor, 2023

O diagrama de banco de dados relacional para o sistema de gerenciamento de uma horta comunitária apresenta as seguintes tabelas e relações:

Tabelas:

- cadastros**: idCadastro: INTEGER (PK), idUser: INTEGER (FK), email: VARCHAR, senha: VARCHAR.
- perfis**: idTipo: INTEGER (PK), nomeTipo: VARCHAR.
- usuarios**: idUser: INTEGER (PK), idTipo: INTEGER (FK), idFuncionario: INTEGER (FK).
- usuariosXperfis**: idPerfilPermissao: INTEGER (PK), idTipo: INTEGER (FK), idPermissao: INTEGER (FK).
- funcionarios**: idFuncionario: INTEGER (PK), nome: VARCHAR, cpf: VARCHAR, rua: VARCHAR, bairro: VARCHAR, cidade: VARCHAR, estado: VARCHAR.
- funcionariosXperfis**: idFuncionarioXprop: INTEGER (PK), idFuncionario: INTEGER (FK), idPropriedade: INTEGER (FK).
- funcionariosXemails**: idFuncXemail: INTEGER (PK), idFuncionario: INTEGER (FK), email: VARCHAR.
- funcionariosXtelefones**: telefone: VARCHAR, idFuncionario: INTEGER (FK), idFuncionarioXtelefone: INTEGER (FK).
- propriedades**: idPropriedade: INTEGER (PK), nome: VARCHAR, cep: VARCHAR, rua: VARCHAR, bairro: VARCHAR, estado: VARCHAR.
- plantacoes**: idPlantacao: INTEGER (PK), quantidade: INTEGER, idPropriedade: INTEGER (FK).
- plantas**: idPlanta: INTEGER (PK), qrCode: BLOB, idPlantacao: INTEGER (FK).
- frutos**: idFruto: INTEGER (PK), idPlanta: INTEGER (FK).
- analises**: idAnalise: INTEGER (PK), imagem: BLOB, idFruto: INTEGER (FK), diagnostico_tipo: BOOLEAN, indice: DECIMAL, idDoenca: INTEGER (FK), data: DATE.
- doencas**: idDoenca: INTEGER (PK), nome: VARCHAR, grauDoenca: VARCHAR.
- recomendacoes**: idRecomendacao: INTEGER (PK), recomendacao: VARCHAR, idDoenca: INTEGER (FK).

Relações:

- cadastros** (1,n) **perfis**
- perfis** (1,n) **usuarios**
- usuarios** (1,1) **usuariosXperfis**
- usuariosXperfis** (0,1) **perfis**
- usuariosXperfis** (0,1) **funcionarios**
- funcionarios** (1,n) **funcionariosXperfis**
- funcionariosXperfis** (0,1) **funcionarios**
- funcionariosXperfis** (0,1) **propriedades**
- funcionariosXemails** (1,1) **funcionarios**
- funcionariosXemails** (1,n) **funcionarios**
- funcionariosXtelefones** (1,1) **funcionarios**
- funcionariosXtelefones** (1,n) **funcionarios**
- propriedades** (1,1) **plantacoes**
- propriedades** (1,1) **plantas**
- plantacoes** (1,1) **plantas**
- plantas** (1,1) **frutos**
- frutos** (1,n) **analises**
- analises** (1,1) **doencas**
- doencas** (1,1) **recomendacoes**
- recomendacoes** (1,n) **doencas**

Canvas

Para atingir os objetivos propostos, o desenvolvimento da aplicação para dispositivos móveis é uma atividade fundamental. Além disso, a elaboração de uma IA, jun-

tamente com seu treinamento, são passos cruciais no processo. Os recursos necessários incluem uma equipe de desenvolvimento, disponibilidade de equipamentos adequados e um banco de dados com as imagens que serão analisadas. Os possíveis interessados no desenvolvimento deste trabalho foram identificados em instituições voltadas para a agricultura de limão Taiti, refletindo o foco do CITRO no segmento de mercado dos agricultores e produtores de citros. As principais despesas associadas ao projeto envolvem a contratação da equipe de desenvolvimento e a aquisição de recursos para o desenvolvimento da aplicação de dispositivos móveis. Para garantir a sustentabilidade financeira do projeto, foi elaborado um esquema de fonte de renda baseado em um modelo de assinatura. Os agricultores não assinantes têm a possibilidade de realizar um número limitado de pré-diagnósticos, já os assinantes podem efetuar um número ilimitado de pré-diagnósticos de suas plantações de limão Taiti, incentivando a adoção contínua da solução.

O Citro representa um exemplo inovador de como a tecnologia pode ser aplicada ao setor agrícola, fornecendo diagnósticos precisos e acesso fácil a informações para agricultores de limão Taiti. Seu modelo de negócios bem estruturado demonstra a importância de parcerias estratégicas, atividades-chave, recursos-chave e uma proposta de valor sólida na entrega de soluções eficazes para um mercado em constante evolução.

CONCLUSÃO

Este artigo destaca a aplicação da tecnologia e da IA na agricultura, especificamente na detecção precoce e diagnóstico preciso de doenças que afetam o cultivo do limão-Taiti. À medida que o mundo enfrenta desafios crescentes relacionados à segurança alimentar, desenvolvimento sustentável e saúde humana, é essencial adotar abordagens inovadoras para atender às demandas em constante evolução.

A ONU estabeleceu a Agenda 2030, que compreende 17 ODS, visando promover a cooperação global para enfrentar esses desafios. Este projeto busca interconectar os objetivos da ONU com o cultivo do limão-Taiti no estado de São Paulo, aliando-se especificamente à meta doze, que promove a produção sustentável. Ao otimizar a detecção de doenças que afetam a produção de limão-Taiti, não apenas se promove a saúde das plantas, mas também se contribui para a eficiência dos recursos na agricultura. A relevância econômica e nutricional do limão-Taiti é inegável, e sua produção é um setor em crescimento que beneficia agricultores e consumidores. No entanto, o cultivo enfrenta desafios, como o Cancro Cítrico e a Leprose, que podem afetar a produtividade e a rentabilidade. Essas doenças, quando não detectadas precocemente, podem levar a perdas significativas.

A abordagem proposta neste artigo utiliza visão computacional para identificar essas doenças com facilidade, promovendo um cultivo mais saudável, próspero e rentável do limão-Taiti. Além disso, essa tecnologia permite reduzir a necessidade de intervenção hu-

mana no processo de diagnóstico, otimizando recursos e tempo. No âmbito deste projeto, todo o processo é conduzido por meio de uma aplicação móvel chamada Citro. Embora o embasamento científico deste projeto seja sólido e promissor, sua viabilidade prática, econômica e regulatória requer estudos e testes mais aprofundados, principalmente em um contexto real de uso. Durante a produção deste artigo, foram encontradas algumas limitações, as quais serão trabalhadas futuramente, com a continuidade do projeto. Tais como uma maior abrangência de doenças detectáveis pelo aplicativo Citro, sendo duas até o atual momento. Existe também a pretensão de adicionar novas funcionalidades ao aplicativo Citro, como informações detalhadas acerca do diagnóstico de cada fruto, assim como numa perspectiva geral das plantações cadastradas, com objetivo de facilitar a usabilidade deste aplicativo e prover o máximo de informações possíveis colhidas pelo sistema.

Concluindo, esta iniciativa representa um passo importante em direção a um cultivo sustentável e eficiente do limão-Taiti, alinhado aos princípios da Agenda 2030 da ONU. A aplicação da IA e da Visão Computacional não apenas beneficia os agricultores, mas também contribui para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável, promovendo o bem-estar dos cidadãos e o uso responsável dos recursos naturais. À medida que novas tecnologias e abordagens são desenvolvidas, o potencial para avanços significativos na agricultura continua a crescer, fornecendo soluções inovadoras para os desafios globais que enfrentamos.

Referências

- 1 DIANA, E.; ISIDORO, C.; IKEFUTI, C. O agronegócio e a produtividade do limão tahiti: Um estudo no município de marinópolis, no noroeste paulista. *Brazilian Journals*, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/34989/27319>.
- 2 COELHO, Y. et al. *A Cultura do Limão-Taiti*. 2nd. ed. [S.l.]: Embrapa, 1998.
- 3 TRUCOM, C. *O Poder de Cura do Limão*. 2nd. ed. [S.l.]: Editora Alaúde, 2004.
- 4 AMARAL, A. Cancro cítrico: permanente preocupação da citricultura no brasil e no mundo. *Embrapa*, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/24074/1/cot086.pdf>.
- 5 FORNAZIER, M. et al. *Leprose dos Citros*. 1st. ed. [S.l.]: Editora Incaper, 2023.
- 6 BOARI, A. et al. *Manual do Manejador Fitossanitário dos Citros*. 1st. ed. [S.l.]: Embrapa, 2009.
- 7 SILVA, B.; VANDERLINDE, M. Inteligência artificial, aprendizado de máquina. *UDESC*, 2012. Disponível em: https://www.ceavi.udesc.br/arquivos/id_submenu/387/brigiane_machado_da_silva__marcos_vanderlinde.pdf.

8 RIBEIRO, A.; JORGE, B.; PAIVA, C. Diferenciação do greening de outras doenças foliares em citros utilizando técnicas de processamento de imagens. *UFL - University of Florida*, 2012. Disponível em: [⟨https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00002955.pdf⟩](https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00002955.pdf).

9 PAZOTI, M.; PESSOA, J.; BRUNO, O. Citrusvis - um sistema de visão computacional no combate à mancha preta em citros. *USP*, 2006. Disponível em: [⟨https://citrusrt.ccsm.br/article/5e57d3d40e8825e4705d5a15/pdf/citrusrt-27-2-5e57d3d40e8825e4705d5a15.pdf⟩](https://citrusrt.ccsm.br/article/5e57d3d40e8825e4705d5a15/pdf/citrusrt-27-2-5e57d3d40e8825e4705d5a15.pdf).

10 PEREIRA, J. K. O. Uso de visão computacional para reconhecimento de imagens de frutas em imagens rgb. *UFC - Universidade Federal do Ceará*, 2021. Disponível em: [⟨https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/64490/1/2022_tcc_jkopereira.pdf⟩](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/64490/1/2022_tcc_jkopereira.pdf).

11 FIELD, D.; WALLACE, E. *Figma*. [S.l.]: Figma, Inc., 2016.

12 OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010.

13 FOWLER, M. *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. 3rd. ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 2003.

14 SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. *Database System Concepts*. 6th. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2010.

15 ANDERSON, D. J. *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. [S.l.]: Blue Hole Press, 2010.

16 TOTVS. *Como Implementar o Kanban: Um Guia Prático*. 2023. Acesso em 9 de novembro de 2023. Disponível em: [⟨https://www.totvs.com/blog/negocios/kanban/⟩](https://www.totvs.com/blog/negocios/kanban/).

Anexo A

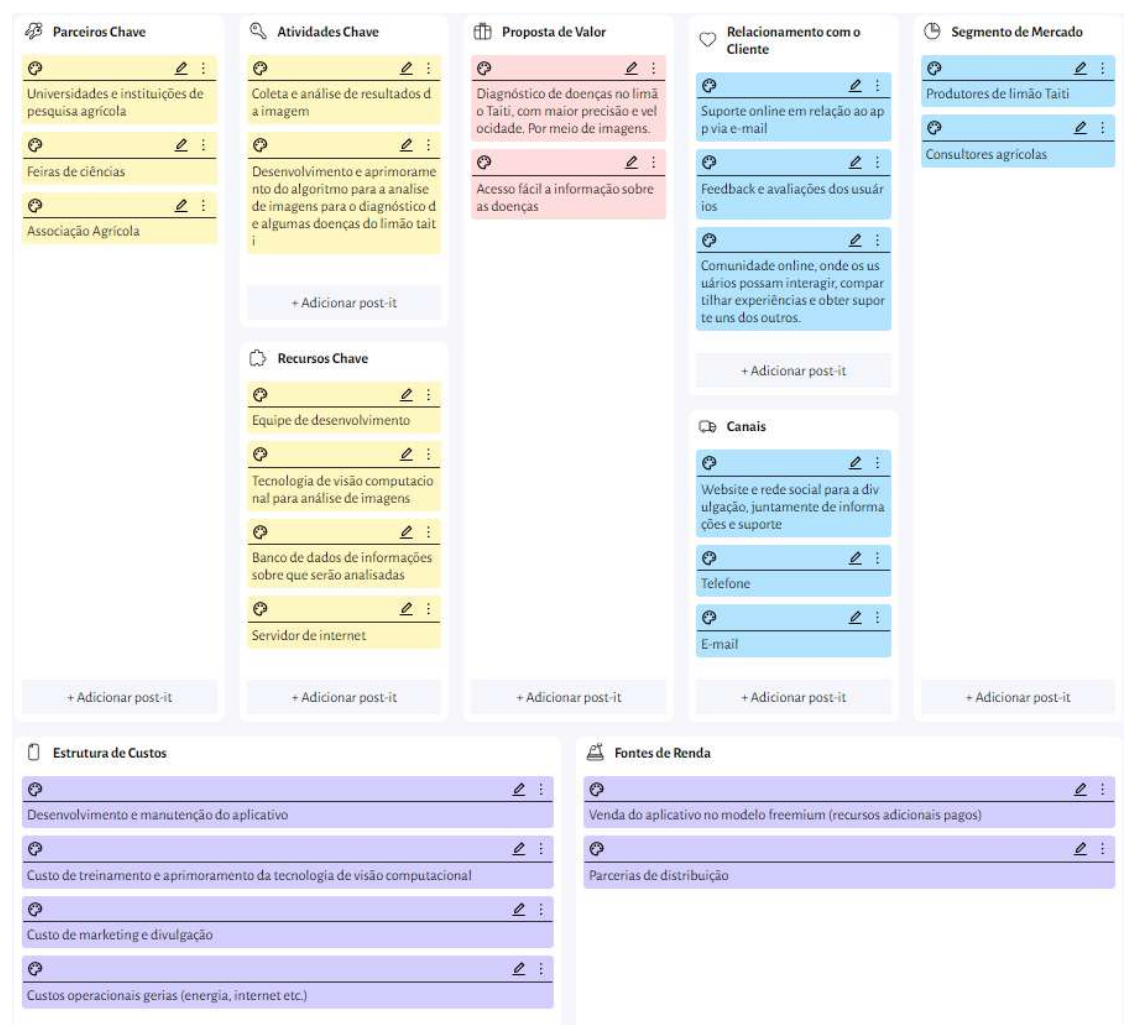


Figura 15. Canvas