**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE**
**DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO**

**MIQUEAS AMORIM TEIXEIRA**

# APLICATIVO MOBILE PARA QUANTIFICAÇÃO DE SEVERIDADE DE DOENÇAS DE PLANTAS

ALEGRE - ES
2023

MIQUEAS AMORIM TEIXEIRA

# APLICATIVO MOBILE PARA QUANTIFICAÇÃO DE SEVERIDADE DE DOENÇAS DE PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. D.Sc. Clayton Vieira Fraga Filho

ALEGRE - ES

2023

**MIQUEAS AMORIM TEIXEIRA**

# APLICATIVO MOBILE PARA QUANTIFICAÇÃO DE SEVERIDADE DE DOENÇAS DE PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em 24 de julho de 2023.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Clayton Vieira Fraga Filho**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Orientador**

**Prof. M.Sc. Giuliano Prado de Morais Giglio**
**Universidade Federal do Espírito Santo**

**Prof. Dr. Willian Bucker Moraes**
**Universidade Federal do Espírito Santo**

## RESUMO

A agricultura  é essencial para a economia do Brasil. Dessa forma, a preocupação em manter a qualidade no desenvolvimento das culturas é um fato que muitos profissionais da área vivenciam no seu cotidiano. Uma das principais causas que podem reduzir a produtividade das culturas é a ação de agentes bióticos que provocam doenças, as quais, muitas delas, causam sintomas que são observados nas folhas da planta. O conhecimento da severidade de tais doenças é importante para um bom monitoramento e avaliação de medidas de controle. Dado isso, este trabalho propõe desenvolver um aplicativo *mobile* que permita a detecção de forma supervisionada de doenças de folhas de plantas, de tamanho e percentual da área foliar doente. Espera-se que o software auxilie os profissionais da área na obtenção do nível de severidade das doenças e, além disso, através das interações por esses especialistas sirva para montar uma base de análises técnicas robusta, o que pode ser útil, futuramente, para utilização em algoritmos de *deep learning*.



**Palavras-chave:** Fitopatometria; Segmentação de imagem foliar; Processamento de imagem digital; Desenvolvimento de aplicativo.

**SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO....7
1.1 Objetivos....8
1.1.1 Objetivo geral....8
1.1.2 Objetivos específicos....8
2 REVISÃO DE LITERATURA....10
2.1 Doenças vegetais....10
2.1.1 Doenças do cafeeiro....10
2.1.2 Severidade de doenças das plantas....11
2.2 Processamento de imagem digital....11
2.2.1 Imagem digital....11
2.2.2 Modelo de Cores....12
2.2.2.1 RGB....12
2.2.3 Segmentação de Imagem....14
2.2.3.1 *Thresholding*....14
3 METODOLOGIA....16
3.1 Levantamento de requisitos....16
3.2 Especificação e validação dos requisitos....16
3.3 Desenvolvimento do protótipo funcional....19
3.4 Avaliação do protótipo em campo....20
3.5 Discussão sobre a avaliação do protótipo em campo....20
3.6 Correção dos problemas encontrados....20
3.7 Desenvolvimento do aplicativo....20
4 RESULTADOS....22
4.1 Estrutura do projeto....22
4.2 Telas....22
4.2.1 Login....23
4.2.2 Redefinição de senha....23
4.2.3 Cadastro....24
4.2.4 Inicial....25
4.2.5 Projeto....26
4.2.6 Análise....30

4.2.6.1 Objeto de referência.....30
4.2.6.2 Diâmetro do objeto de referência.....31
4.2.6.3 Segmentação da folha.....32
4.2.6.4 Segmentação da doença.....34
4.2.6.5 Região doente pelo aplicativo vs região doente real.....35
4.2.6.6 Confirmação dos dados.....36
4.2.6.7 Resultado da análise.....37
4.2.7 Tela de avaliação de análises de outros usuários.....38
4.3 Comparações dos resultados com o software QUANT.....39
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....42
5.1 Melhorias e trabalhos futuros.....42
6 REFERÊNCIAS.....44
7 APÊNDICES.....47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Folha do cafeeiro acometida pela Hemileia vastatrix.....12
Figura 2 - Esquema do cubo de cores RGB.....15
Figura 3 - Cubo de cores RGB.....15
Figura 4 - (a) imagem original, (b) folha segmentada, (c) doença segmentada e (d) círculo segmentado.....16
Figura 5 - (a) Imagem na escala de cinza. (b) Histograma da imagem. (c) Imagem segmentada usando *thresholding*.....17
Figura 6 - Diagrama de casos de uso da aplicação proposta.....20
Figura 7 - Fluxo de coleta e armazenamento de dados no aplicativo.....23
Figura 8 - Tela de Login.....25
Figura 9 - Tela de redefinição de senha.....26
Figura 10 - Tela de cadastro.....27
Figura 11 - Tela inicial.....28
Figura 12 - Tela de projeto.....29
Figura 13 - Janela de seleção de imagem para nova análise.....30
Figura 14 - Menu da tela de projeto.....31
Figura 15 - Janela para editar projeto.....31
Figura 16 - Janela para apagar projeto.....32
Figura 17 - Tela da imagem de referência.....33
Figura 18 - Tela de diâmetro de referência.....34
Figura 19 - Tela de seleção da folha.....35
Figura 20 - Telas de seleção da doença.....37
Figura 21 - Tela da doença realçada.....38
Figura 22 - Tela da confirmação dos dados.....38
Figura 23 - Telas dos resultados da análise.....39
Figura 24 - Tela de avaliação de análise de outro usuário.....40

# 1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Brasil tem uma grande importância tanto para a economia do país como para a população que consome os alimentos advindos dos campos. Como exemplo, o país é o maior produtor e exportador de café. Cerca de um terço da produção mundial cafeeira vem dos solos brasileiros (USDA, 2023). Em decorrência disso há uma preocupação razoável em manter a atividade agrícola produtiva.

As doenças das plantas são um dos principais fatores que podem afetar a produção da cultura. Causadas por agentes bióticos, elas tem efeitos devastadores nos campos. Por exemplo, dentre os patógenos causadores dessas enfermidades, a ferrugem da folha do café (*Hemileia vastatrix*) é uma das principais doenças que acometem a cafeicultura, onde pode reduzir a produtividade em até 50% (Belan, *et al*., 2020).

De acordo com estudos de patologia vegetal, sabe-se que um desafio importante é estimar a severidade da doença. Essa estimativa é feita com base na porcentagem da área foliar cujos tecidos encontram-se lesionados. Esse dado pode ser usado para vários propósitos como, por exemplo, realizar uma avaliação de medidas de controle, avaliar a eficiência de fungicidas e determinar resistência varietal (CAPUCHO, *et al*., 2011).

Vários estudos já foram realizados a fim de desenvolver um *software* para estimativa da severidade de doenças em plantas. Como o trabalho de Vale et al. (2001), que teve como objetivo o desenvolvimento do software QUANT, o qual já foi muito utilizado em artigos para desenvolvimento e validação de SAD (*Standard Area Diagram*) nas últimas duas décadas (DEL PONTE, *et al*., 2017). Outro aplicativo de análise de imagem que tem essa função é o Assess (Lamari, 2002). Ambos *softwares* citados operam somente em sistemas operacionais *desktop*, isto é, que são executados em computadores pessoais não portáteis.

Existem vários aplicativos *mobile* para a avaliação de severidade de doenças. Como o estudo de Pethybridge e Nelson (2015), que desenvolveu um aplicativo *mobile* para estimar a intensidade de doenças em plantas utilizando-se de um método semi-automático, ou seja, precisando-se da interação do usuário para informar amostras de cores que representam o tecido sadio. Dessa forma, o software consegue distinguir os tecidos saudáveis dos doentes e, com isso, calcular

a porcentagem da área doente. Já o aplicativo desenvolvido pelo trabalho de Esgario *et al*. (2021) utilizou-se de CNN (*convolutional neural network*), um método de inteligência artificial, para a segmentação automática das folhas do café e suas lesões. Além disso, o software também identifica automaticamente quatro tipos de doenças do cafeeiro e calcula a severidade das mesmas.

Uma das principais limitações encontradas nesses tipos de aplicativos móveis, sobretudo, *apps* que fazem o uso de *deep learning,* é a necessidade de conexão com a *Internet*. Isso pode prejudicar a usabilidade do aplicativo afetando a acessibilidade. Em regiões com conectividade limitada ou ausente, os usuários não conseguirão acessar o aplicativo ou usufruir de todas as suas funcionalidades.

De acordo com uma pesquisa (Apêndice A) feita para este trabalho envolvendo 43 especialistas da área, 86% disseram que não conhecem um aplicativo que faça avaliação de severidade de doenças de plantas. Já o restante que responderam que conhecem algum aplicativo que tem essa função, citaram aplicativos *mobile* que não estimam a severidade de doença foliar e softwares que têm essa funcionalidade mas são do tipo *desktop*.

Diante do exposto, esse trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo móvel para auxiliar na avaliação de severidade das doenças foliares de plantas, porém com o estudo de caso aplicado ao cafeeiro. Além disso, através das análises foliares e das interações dos usuários ao classificar cada análise, montar uma base de dados que agregue um consenso técnico sobre as doenças que afetam as folhas das plantas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um aplicativo *mobile* que permita a detecção de forma supervisionada de doenças de folhas de plantas, de tamanho e percentual da área foliar doente.

### 1.1.2 Objetivos específicos

a. Estimar a área foliar individual (cm²);
b. Estimar a área foliar doente (cm²) e percentual correspondente;

c. A partir dos objetivos a e b permitir que o usuário realize a identificação da doença;
d. Permitir o compartilhamento das análises técnicas (c) para formar um Banco de Dados de Análises Técnicas de doenças de plantas;
e. Permitir que usuários avaliem as Análises Técnicas submetidas pelo aplicativo por outros usuários com o objetivo de formar um consenso técnico robusto acerca da análise realizada;
f. Realizar uma comparação de resultados entre o aplicativo proposto e o software QUANT baseado no estudo de caso da doença da ferrugem do cafeeiro

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 Doenças vegetais

Sabe-se que os patógenos são limitantes importantes para o crescimento de qualquer cultura. Como aponta Dhingra, Kumar e Joshi (2017), as doenças vegetais podem afetar diferentes partes da planta, tais como raiz, caule, semente e folha. Os sintomas visíveis na folha infectada são áreas de seu tecido que apresentam uma coloração diferente de sua cor natural. Esses danos à folha têm um impacto considerável na geração de energia via fotossíntese uma vez que o seu tamanho é reduzido.

### 2.1.1 Doenças do cafeeiro

Nas folhas do cafeeiro, como na maioria das plantas, podem ser observados sintomas da ação de agentes bióticos. Esses sintomas podem apresentar variações de cores e formato, dependendo do patógeno causador. A ferrugem do cafeeiro é a principal doença que acomete a cultura. Ela é causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, que afeta as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (Waller *et al*., 2007). Na Figura 1, é possível observar os sintomas provocados por essa doença, os quais são as manchas amarelas e laranjas.

Figura 1 - Folha do cafeeiro acometida pela Hemileia vastatrix

Fonte: Autoria própria (2022)

### 2.1.2 Severidade de doenças das plantas

De acordo com Bock, *et al*. (2020), a severidade de doenças das plantas é uma variável quantitativa chave a ser conhecida para muitas doenças e, comumente, ela é a proporção do tecido foliar que exibe sintomas. Essa porcentagem, geralmente, é utilizada em um *Standard Area Diagram* (SAD) que define o nível de severidade da doença de acordo com a porcentagem da mesma obtida.

Essa variável pode ser calculada ou estimada, dependendo da tecnologia e técnica utilizadas no processo. Porém, de qualquer forma, ela é útil pois auxilia no monitoramento da doença, o que reduz o uso de fungicidas e custos de manejo (Belan, *et al*., 2020).

## 2.2 Processamento de imagem digital

De acordo com Gonzalez e Woods (2018), o processamento de imagem digital consiste no ato de manipular uma imagem armazenada eletronicamente em um computador. A manipulação da imagem digital pode ter vários propósitos, como a melhoria da qualidade da imagem, aplicação de filtros, remoção de elementos na fotografia, entre outros. Grandes investimentos têm sido feitos nessa área devido ao fato de importantes segmentos da indústria terem a necessidade de tratamento em imagens digitais, tais como área medicinal, automação e visão computacional.

### 2.2.1 Imagem digital

Uma imagem digital é um conjunto de *pixels* (picture element) que representa um cenário capturado por um dispositivo eletrônico, como por exemplo, uma câmera fotográfica digital. O *pixel*, por sua vez, é o menor elemento de uma imagem digital e possui atributos como localização na imagem e seu valor, que consiste na cor. Cada *pixel* possui sua posição na imagem seguindo uma função $f(x, y)$, onde $x$ representa a coordenada do eixo horizontal e $y$ a coordenada do eixo vertical no sistema de coordenadas cartesiano, sendo o primeiro *pixel* localizado em $(0,0)$ (GONZALEZ e WOODS, 2018).

A equação a seguir mostra a representação da imagem digital como uma matriz composta de valores numéricos $f(x, y)$:

$$f(x,y)=\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

onde $M$ é o número de linhas e $N$ é o número de colunas.

### 2.2.2 Modelo de Cores

Conforme definido por Gonzalez e Woods (2018), um modelo de cores (*color model*, em inglês) é uma especificação de um sistema de coordenadas e também um subespaço dentro desse sistema. Dessa forma, cada cor no modelo é representada por um único ponto contido nesse subespaço.

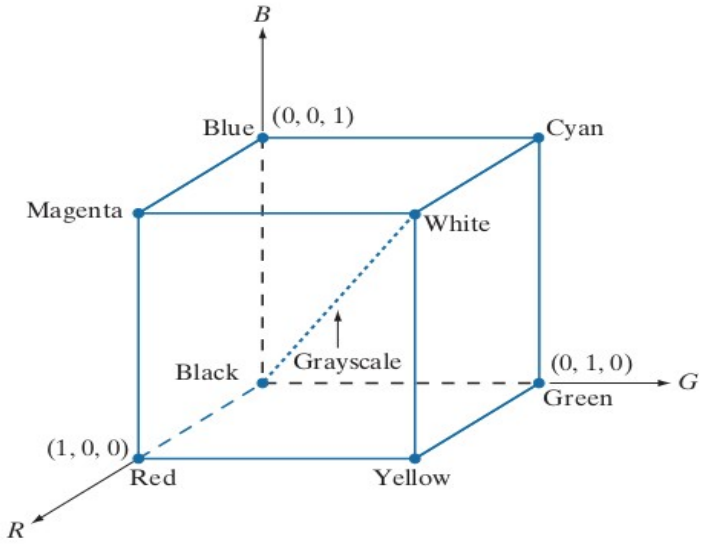
O modelo de cor muito utilizado nos dispositivos de exibição eletrônica como TVs, monitores de computadores e celulares é o RGB (red, green, blue*)*. Porém, existem diversos outros modelos de cores. Como o CMYK (*cyan*, *magenta*, *yellow*, *black*), utilizado pelas impressoras coloridas e o modelo HSI (*hue*, *saturation*, *intensity*) o qual é próximo da forma em que os humanos descrevem e interpretam as cores (GONZALEZ e WOODS, 2018).

#### 2.2.2.1 RGB

O modelo de cor RGB é considerado o padrão para armazenamento e representação de imagens digitais (Kolkur *et al*., 2016). Este modelo define a cor como a junção dos níveis de intensidade de três cores primárias, a saber, vermelho, verde e azul. A partir da mistura dessas cores, pode-se obter qualquer cor presente no espaço de cores correspondente.

Conforme mostra a Figura 2, o modelo é baseado no sistema de coordenados Cartesiano, onde a cor preta é definida como a ausência das três cores primárias e do lado oposto, a cor branca é a presença de intensidade máxima das mesmas cores.

Figura 2 - Esquema do cubo de cores RGB




Fonte: GONZALEZ e WOODS (2018)

De acordo com o que é visto na Figura 3 , o espaço de cores, isto é, as cores possíveis de serem formadas a partir de vermelho, verde e azul é formada por todo ponto dentro do cubo de cores RGB (GONZALEZ e WOODS, 2018). Com isso, vemos muitas das cores possíveis de serem criadas a partir das cores primárias.

Figura 3 - Cubo de cores RGB

Fonte: GONZALEZ e WOODS (2018)

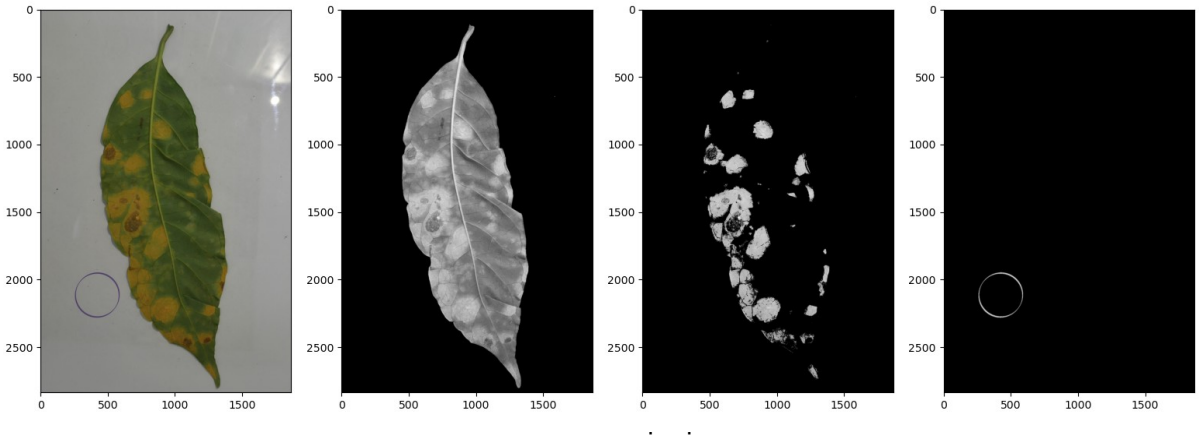
Embora na figura apresentada (Figura 2), o valor de intensidade de cada cor esteja no intervalo $[0,1]$, os valores muitas vezes são representados também no intervalo $[0,255]$. Dessa forma, o azul de intensidade máxima pode também ser representado pela tupla $(0,0,255)$.

### 2.2.3 Segmentação de Imagem

Segmentação de imagem é uma tarefa essencial em muitos sistemas que usam visão computacional; ela realiza o particionamento da imagem em vários segmentos ou objetos. Vários algoritmos com esse propósito foram desenvolvidos na literatura, desde os mais simples, como *thresholding*, até os mais robustos e complexos com o uso de *deep learning* (Minaee *et al*., 2021). O objetivo deste processo é isolar as regiões de interesse na imagem.

A Figura 4 apresenta um exemplo de segmentação de imagem realizada para obter as regiões que correspondem à folha, doença e um círculo que serve para auxiliar no cálculo das áreas.

Figura 4 - (a) imagem original, (b) folha segmentada, (c) doença segmentada e (d) círculo segmentado




Fonte: Autoria própria (2022)

#### 2.2.3.1 *Thresholding*

Segmentação de imagem baseada em *thresholding* é uma técnica vastamente utilizada devido a sua simplicidade, velocidade computacional e propriedades intuitivas. O método pode ser usado tanto em imagens na escala de cinza (*grayscale*, em inglês), como também em imagens coloridas.

Para imagens na escala de cinza, o método baseia-se em um limitante de intensidade de cor $T$ que distingue os elementos da imagem (objeto e *background*). Nesse sentido, a partir do histograma de intensidade de uma imagem é possível

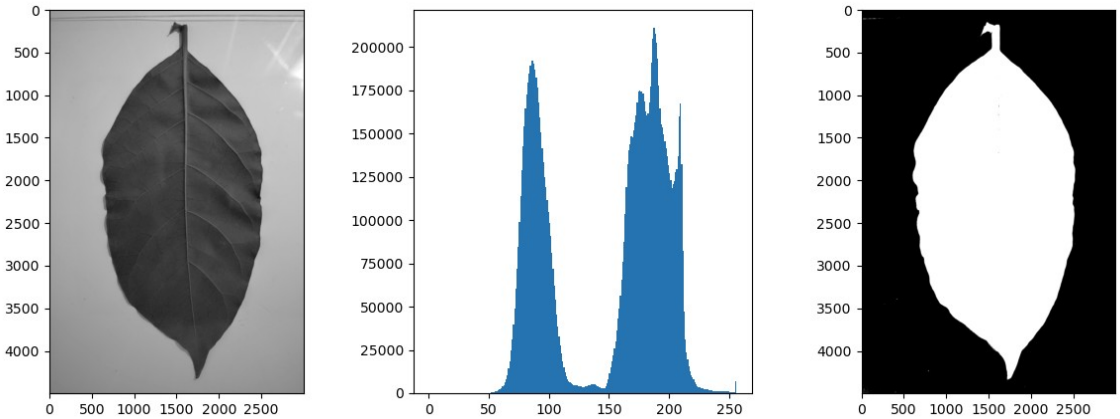
identificar as tonalidades de cinzas predominantes da imagem ao analisar os picos existentes no gráfico, conforme exemplo na Figura 5 (b). Dessa forma, considerando um *background* claro e um objeto escuro, este é representado por todo ponto $(x, y)$ na imagem onde $f(x, y)<T$, e os outros demais pontos pertencem ao *background* (GONZALEZ e WOODS, 2018).

Observa-se na Figura 5 (a) uma imagem digital na escala de cinza *(grayscale*, em inglês) e sua distribuição de frequências em Figura 5 (b). Como pode ser observado, os dois picos separados pelo maior vale representam as intensidades de cinza da folha e do *background*, respectivamente, da esquerda para direita Após a escolha de $T=145$, de forma analítica, a imagem segmentada resultante é uma imagem binária onde os pixels na cor branca fazem parte da folha, e os pretos do fundo, conforme a Figura 5 (c).

Dessa forma, a imagem binária, representada por $g(x, y)$, é obtida pela seguinte função:

$$g(x, y)=\{1\, se\, f(x, y)<T, 0\, se(fx, y)\geq T\}$$

Figura 5 - (a) Imagem na escala de cinza. (b) Histograma da imagem. (c) Imagem segmentada usando *thresholding*




Fonte: Autoria própria (2022)

# 3 METODOLOGIA

Para a execução do trabalho as seguintes etapas foram realizadas:

1. Levantamento de requisitos iniciais do aplicativo;
2. Especificação e validação dos requisitos junto com os pesquisadores da área;
3. Desenvolvimento do protótipo funcional para avaliação da detecção de área foliar individual, classificação supervisionada da área doente, estimativa do tamanho da folha e percentual da área doente para avaliação do mesmo em campo;
4. Avaliação preliminar do aplicativo em campo;
5. Discussão sobre os problemas e características observadas em campo;
6. Correção dos problemas encontrados;
7. Desenvolvimento do aplicativo conforme estabelecido nos objetivos.

Essas etapas estão explicadas nos itens abaixo.

## 3.1 Levantamento de requisitos

O processo de levantamento de requisitos aconteceu por meio da análise de concorrência e prototipagem.

Inicialmente foi realizada uma reunião por videoconferência com pesquisadores da área de engenharia agronômica. Onde os mesmos relataram a sua experiência no uso do *software* QUANT e descreveram as suas necessidades. Dado isso, o *software* QUANT foi o principal concorrente avaliado para identificar recursos e funcionalidades que pudessem ser relevantes para o aplicativo proposto.

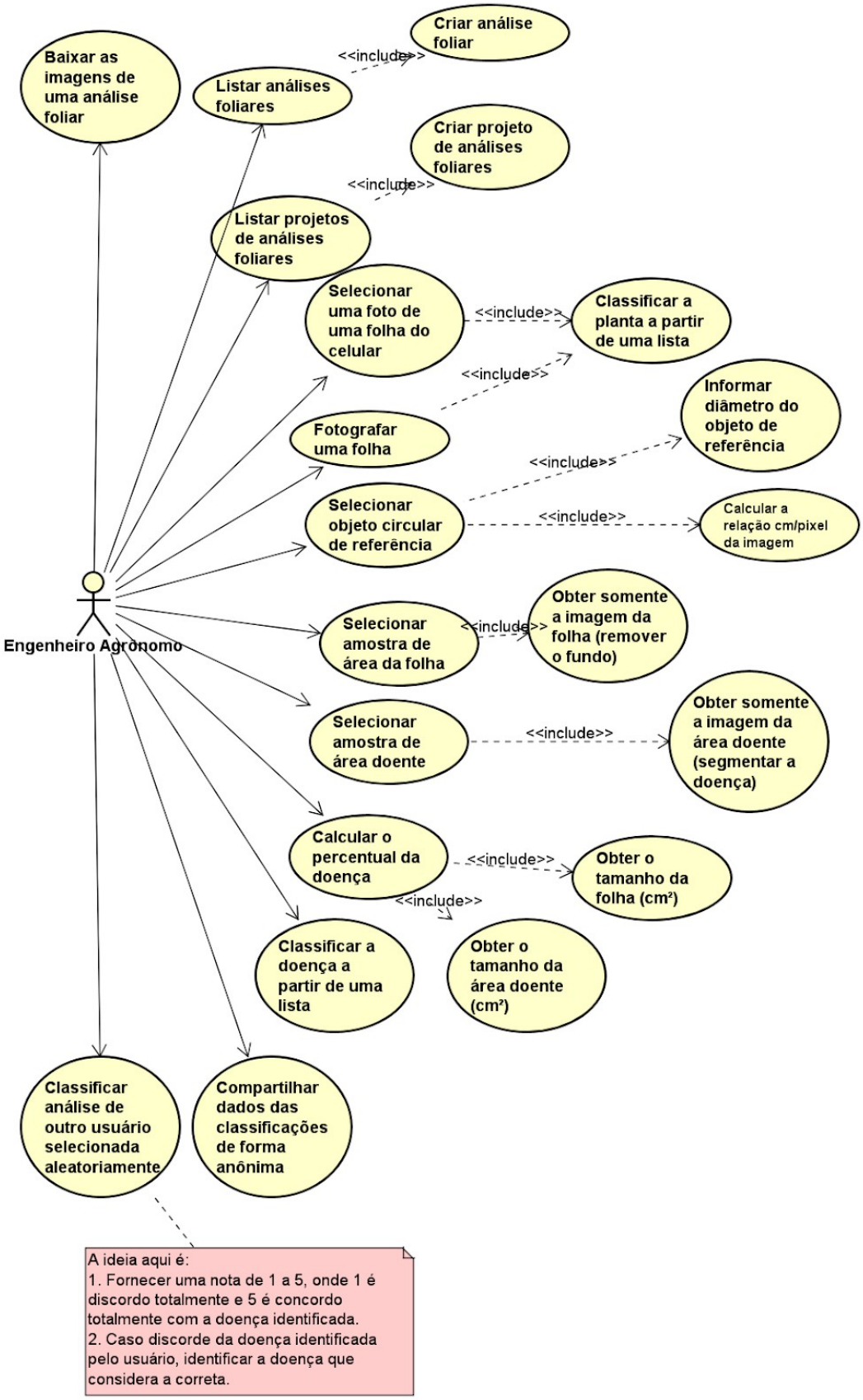
Após isso foi adotada uma abordagem iterativa, onde a cada iteração foi disponibilizada uma versão aprimorada do protótipo, adicionando mais detalhes e funcionalidades ao sistema, tornando-o gradualmente mais próximo do produto final. Isso permitiu obter *feedback* dos usuários em estágios iniciais e incorporar melhorias ao longo do tempo.

## 3.2 Especificação e validação dos requisitos

A especificação formal dos requisitos foi feita logo após os mesmos serem conhecidos. Depois disso, os requisitos foram consolidados na validação dos requisitos com as partes interessadas. Dado isso, a modelagem principal do aplicativo foi realizada.

Na Figura 6 é apresentado o diagrama de casos de uso do aplicativo proposto. Como uma das principais ferramentas utilizadas na modelagem de requisitos no desenvolvimento, o diagrama de casos de uso é uma representação gráfica que descreve as interações entre os autores (usuários, sistemas externos, etc.) e um sistema. Esse diagrama mostra os atores como blocos externos ao sistema e os casos de uso como elipses dentro do sistema, representando as interações entre eles (OMG, 2023)

Figura 6 - Diagrama de casos de uso da aplicação proposta




Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.3 Desenvolvimento do protótipo funcional

Após a consolidação dos requisitos, um protótipo funcional (MVP, do inglês *Minimum Viable Product*) foi desenvolvido constituindo-se das funcionalidades mais importantes, ou seja, os objetivos específicos:

a. Estimar a área foliar individual (cm²);
b. Estimar a área foliar doente (cm²) e percentual correspondente;
c. A partir dos objetivos a e b permitir que o usuário realize a identificação da doença;

O aplicativo foi desenvolvido nativamente para Android, usando a linguagem de programação Java. Além disso, a biblioteca OpenCV foi usada para para realizar as tarefas de processamento de imagem digital. O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, do inglês *integrated development environment*) utilizado foi o Android Studio.

Todo o armazenamento de dados do aplicativo foi feito através das soluções de armazenamento na nuvem do Firebase (plataforma de desenvolvimento de aplicativos da Google). Para persistência das imagens foi utilizado o Cloud Storage for Firebase e os demais dados foram armazenados no Firebase Realtime Database.

O método de segmentação de imagem aplicado foi o baseado em *thresholding*, conforme explicado na revisão bibliográfica. A escolha dessa técnica é motivada pelo fato de que a mesma apresenta bons resultados na segmentação de objetos em um cenário em que há uma distinção evidente entre as cores do *background* e do objeto de interesse.

A informação de cor da região saudável e doente da folha foram utilizados como entradas para os métodos. Para tanto, uma vez que o usuário informa uma amostra de cada uma dessas áreas, os intervalos de variações das cores serão determinados, e, com isso, serão criadas máscaras binárias para cada faixa de cores das regiões, onde a área que estiver no intervalo de cores será representada por *pixels* brancos, e caso contrário, pretos, de acordo com a revisão bibliográfica deste trabalho.

### 3.4 Avaliação do protótipo em campo

A avaliação do protótipo em campo é uma etapa importante do processo de desenvolvimento de um software. A mesma consistiu em testar o protótipo do aplicativo a fim de verificar se ele atendeu às necessidades, expectativas e requisitos das partes interessadas. A avaliação do protótipo em campo permitiu identificar oportunidades de melhoria e correção de problemas. Além disso, a avaliação do protótipo foi útil para obter feedback e sugestões dos usuários.

### 3.5 Discussão sobre a avaliação do protótipo em campo

Devido a um ambiente e características diferentes do laboratório, possíveis problemas não percebidos outrora podem ser observados na avaliação do protótipo em campo. Nessa etapa então, foram discutidos esses problemas e suas soluções apresentadas.

### 3.6 Correção dos problemas encontrados

Etapa responsável pela resolução dos problemas encontrados na avaliação preliminar do protótipo.

### 3.7 Desenvolvimento do aplicativo

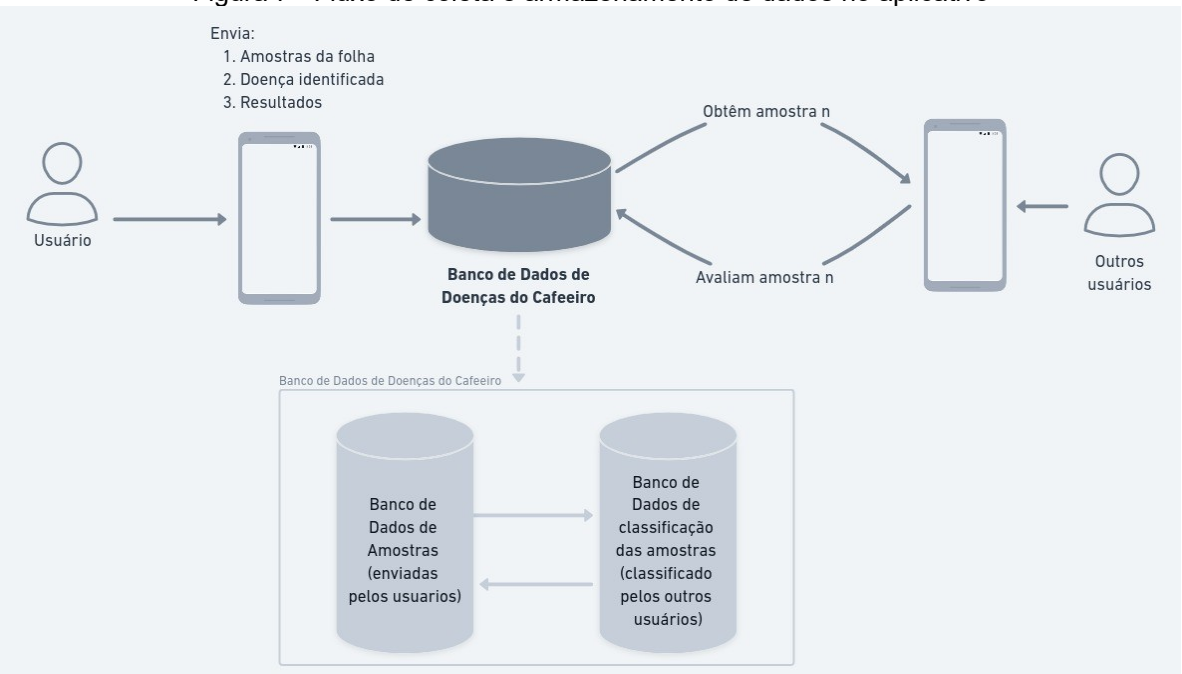
Na última etapa do trabalho, o aplicativo foi finalizado conforme estabelecido nos objetivos. Dessa forma, os demais requisitos foram desenvolvidos, a saber:

- Permitir o compartilhamento das análises técnicas para formar um Banco de Dados de Análises Técnicas de doenças de plantas;
- Permitir que usuários avaliem as Análises Técnicas submetidas pelo aplicativo por outros usuários com o objetivo de formar um consenso técnico robusto acerca da análise realizada;
- Realizar uma comparação de resultados entre o aplicativo proposto e o software QUANT baseado no estudo de caso da doença da ferrugem do

cafeeiro.

O compartilhamento das análises técnicas foi feito mediante a permissão do usuário para que suas informações de análise e a imagem da folha enviada para o aplicativo possam ser armazenadas em um banco de dados. Esses dados incluem: imagem da folha, classificação da doença e metadados existentes na imagem. Na Figura 7 é apresentado o fluxo de interação de coleta e armazenamento de dados no aplicativo.

Figura 7 - Fluxo de coleta e armazenamento de dados no aplicativo




Fonte: Autoria própria (2023)

O usuário poderá avaliar as análises de outros usuários, de forma anônima, a fim de colaborar para o desenvolvimento do consenso técnico a respeito das doenças de plantas avaliadas. Nesse sentido, o usuário poderá dar uma nota de 1 até 5, onde 1 significa que discorda totalmente da doença identificada e 5 concorda com a doença identificada. Isso indica o seu nível de concordância com a doença identificada pela análise. Caso o usuário discorde, ele poderá informar qual a doença que ele considera a correta.

Ao final do desenvolvimento do aplicativo foi realizada uma comparação estatística dos resultados obtidos em laboratório deste trabalho com o software QUANT para o estudo de caso da ferrugem do cafeeiro.

# 4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentadas a estrutura do projeto, as telas e as comparações dos resultados do aplicativo proposto com o software QUANT.

## 4.1 Estrutura do projeto

O Quadro 1 mostra a estrutura de pacotes e as suas funções dentro da aplicação Android desenvolvida.

Quadro 1 - Descrição da estrutura do projeto Android

| **Pacote** | **Função** |
|---|---|
| activity | Contém classes responsáveis por criar as telas e interagir com o usuário |
| adapter | Contém classes encarregadas de permitir a comunicação entre objetos que possuem interfaces incompatíveis |
| auth.firebase | Contém classes responsáveis pela autenticação de usuários no Firebase |
| business | Contém as regras de negócio |
| database.firebase | Contém classes responsáveis por realizar a comunicação com os bancos de dados do Firebase |
| fragment | Contém componentes reutilizáveis de uma interface de usuário que pode ser inserida em diferentes telas |
| model | Contém classes que representam os dados e as suas lógicas |
| shared | Contém objetos que são compartilhados entre diferentes módulos ou componentes do projeto |
| util | Contém classes, métodos ou recursos que são úteis para várias partes do projeto |

Fonte: Autoria própria (2023)

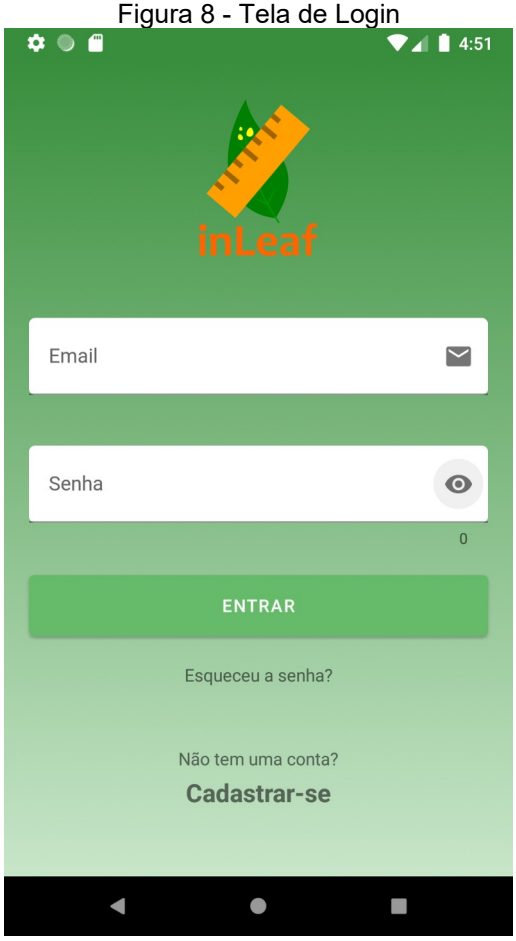
## 4.2 Telas

Nesta subseção estão exibidas todas as principais telas do aplicativo proposto, denominado inLeaf, e os seus fluxos de interação explicados. As imagens foram obtidas de um emulador de Android, especificamente, para o modelo Pixel 5

### 4.2.1 Login

Para que o usuário consiga usar o aplicativo é necessário que o mesmo realize o login, informando o e-mail e a senha da sua conta e tocando o botão “Entrar”, na tela de login apresentado na Figura 8. Caso o usuário não tenha uma conta no app é possível cadastrar uma ao tocar no link “Cadastrar-se”, localizado na parte inferior da tela. Se o usuário esqueceu a sua senha, basta que ele toque no link “Esqueceu a senha?”.

Figura 8 - Tela de Login



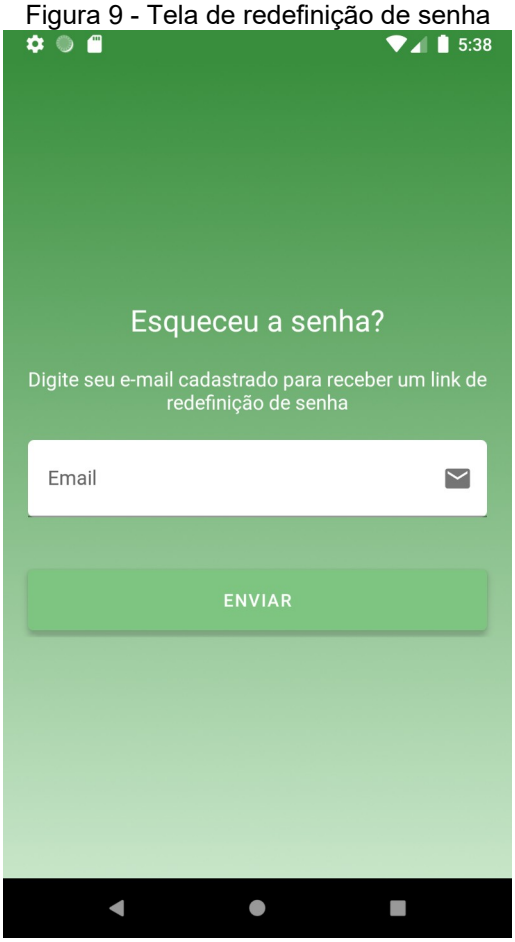

Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.2.2 Redefinição de senha

Na Figura 9 consta a tela responsável por permitir que o usuário informe o seu e-mail para o qual será enviado o link de redefinição de senha. Assim que o usuário clicar no link que receberá no e-mail ele será redirecionado para uma página web

que solicitará a nova senha a ser definida.

Figura 9 - Tela de redefinição de senha




Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.2.3 Cadastro

De acordo como apresentado na Figura 10, essa tela é responsável por permitir que o usuário crie uma conta para utilização do aplicativo. É garantido a validação de todos os campos, tais como nome tendo que ter duas palavras ao menos, e-mail válido e senha com 8 caracteres no mínimo.

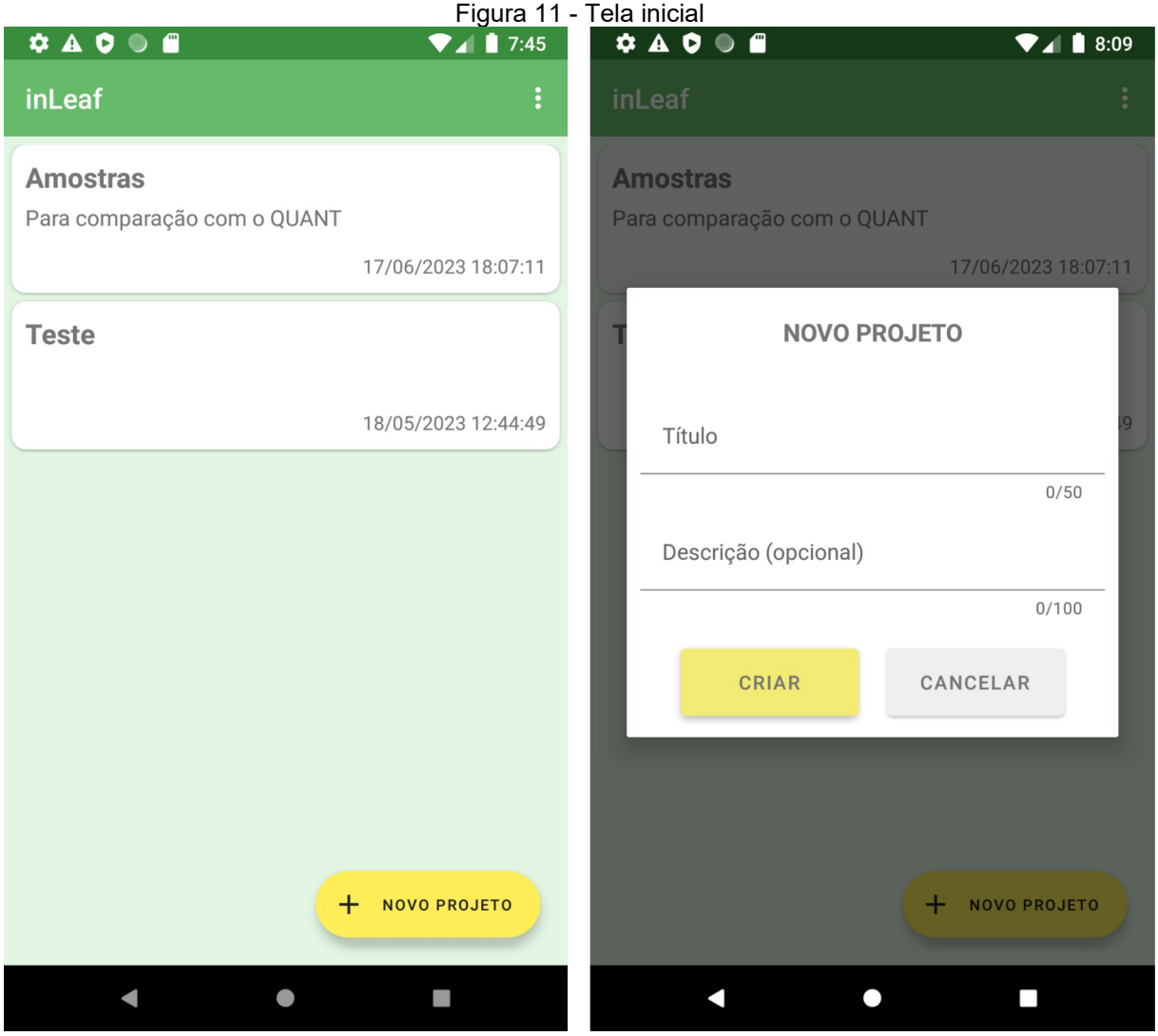
Figura 10 - Tela de cadastro

Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.2.4 Inicial

No subitem (a) da Figura 11 é apresentada a tela inicial do app uma vez que o usuário já estiver logado. A partir dessa tela ele acessa um projeto já existente ao pressionar sobre o retângulo que representa o projeto, direcionando-o para a tela apresentada na Figura 12. Além disso, nessa tela o usuário também pode criar um novo projeto ao clicar no botão “Novo Projeto”, abrindo assim, conforme a Figura 11(b), uma janela *pop-up* (janela que se sobrepõe ao conteúdo principal), pela qual o usuário informará o nome e descrição do projeto.

Figura 11 - Tela inicial



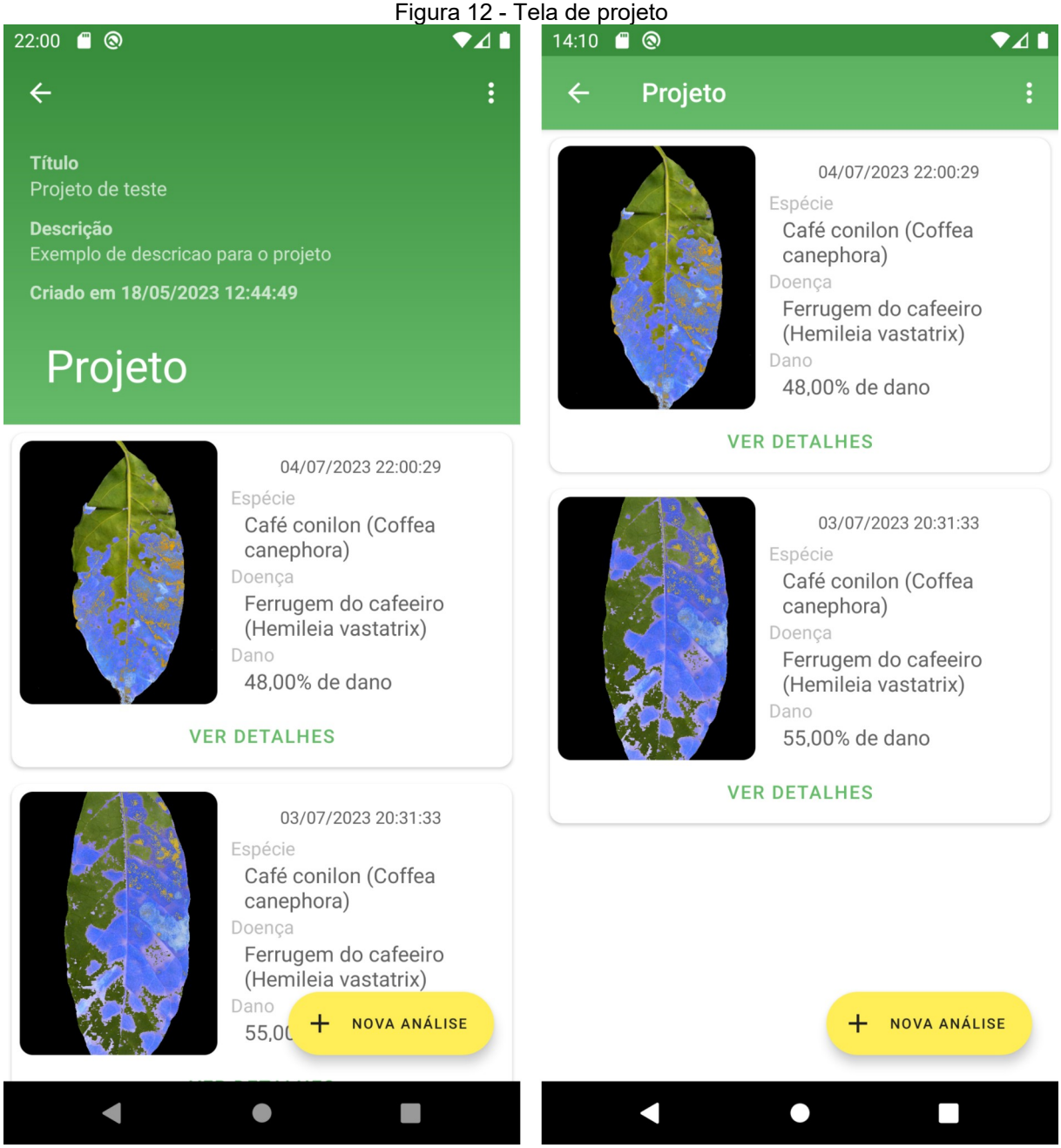

(a) Tela de listagem de projetos (b) Janela de novo projeto

Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.2.5 Projeto

Essa tela apresenta os dados do projeto, a saber, título, descrição, data e hora de criação e por fim a lista de todas as suas análises. No subitem (a) da Figura 12 é o estado inicial dessa tela, com a parte superior, em tonalidade verde, exibindo esses dados. Quando o usuário rolar a tela para cima, automaticamente essa parte superior será fechada, omitindo os dados presentes nela e com isso, o estado da tela será o apresentado no subitem (b) da Figura 12.

Figura 12 - Tela de projeto

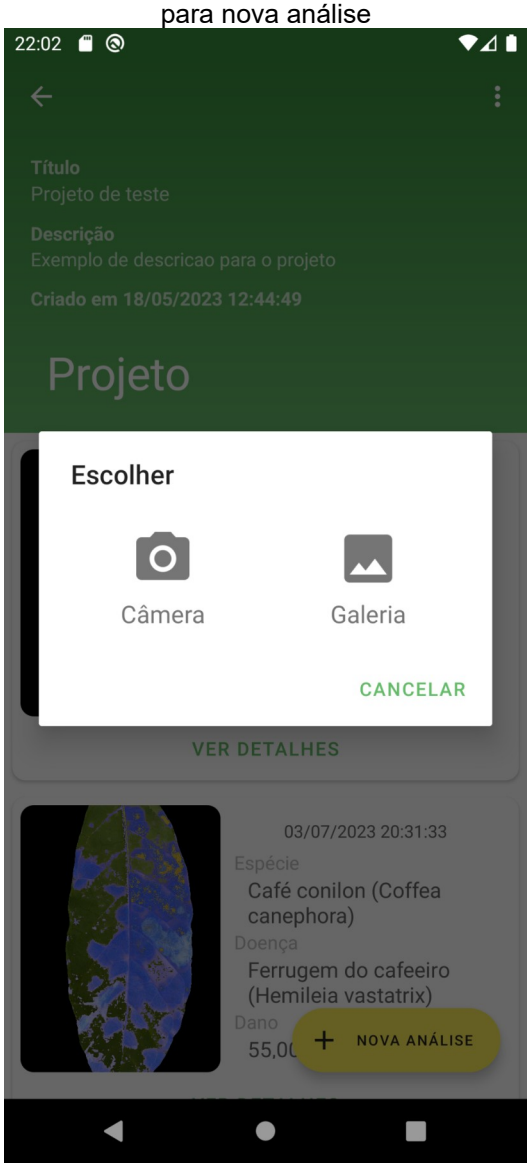



(a) Tela de projeto (b) Tela de projeto estendida

Fonte: Autoria própria (2023)

Caso o usuário queira criar uma nova análise basta que ele toque no botão “Nova Análise”, abrindo dessa forma uma janela *pop-up*, solicitando que o mesmo informe a origem da imagem, conforme Figura 13. Ele pode escolher selecionar fotografar uma folha na hora ou selecionar da galeria do *smartphone*.

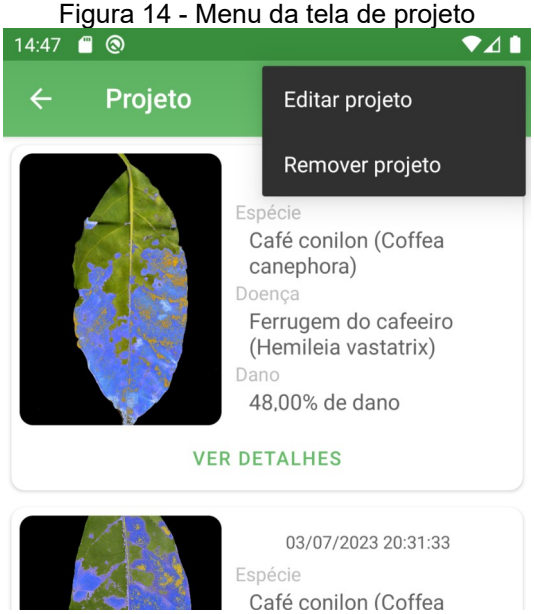
Figura 13 - Janela de seleção de imagem para nova análise




Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 12, quando o usuário clica no ícone ilustrado por três pontos, um abaixo do outro, localizado no canto superior direito, abre-se o menu do projeto com as opções de editar o projeto e removê-lo, conforme o subitem (a) da Figura 15.

Figura 14 - Menu da tela de projeto




Fonte: Autoria própria (2023)

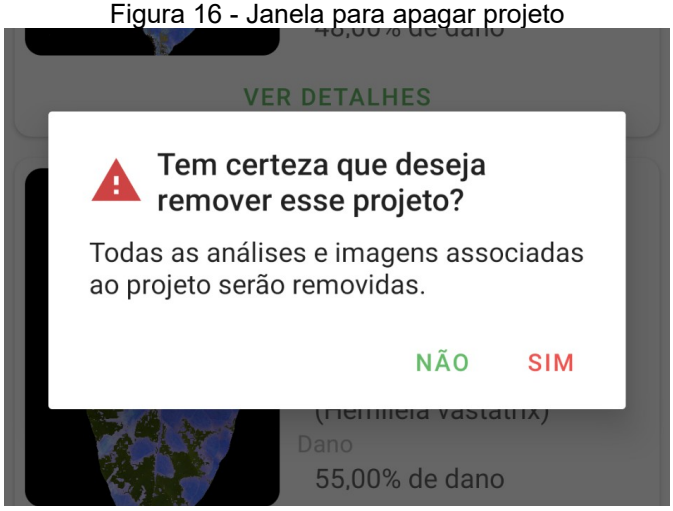
Caso o usuário selecione a opção “Editar projeto”, a janela *pop-up* representada em Figura 15 é aberta, permitindo que o usuário altere o título e descrição do projeto.

Figura 15 - Janela para editar projeto

Fonte: Autoria própria (2023)

Se o usuário quiser apagar o projeto, basta que o mesmo selecione do menu (Figura 14) a opção “Remover projeto”, abrindo assim a janela *pop-up* exibida na Figura 16. Essa janela pergunta se o usuário realmente quer remover o projeto. Caso sim, todos os dados do projeto serão permanentemente excluídos do banco de dados, incluindo todas as análises associadas ao projeto.

Figura 16 - Janela para apagar projeto




Fonte: Autoria própria (2023)

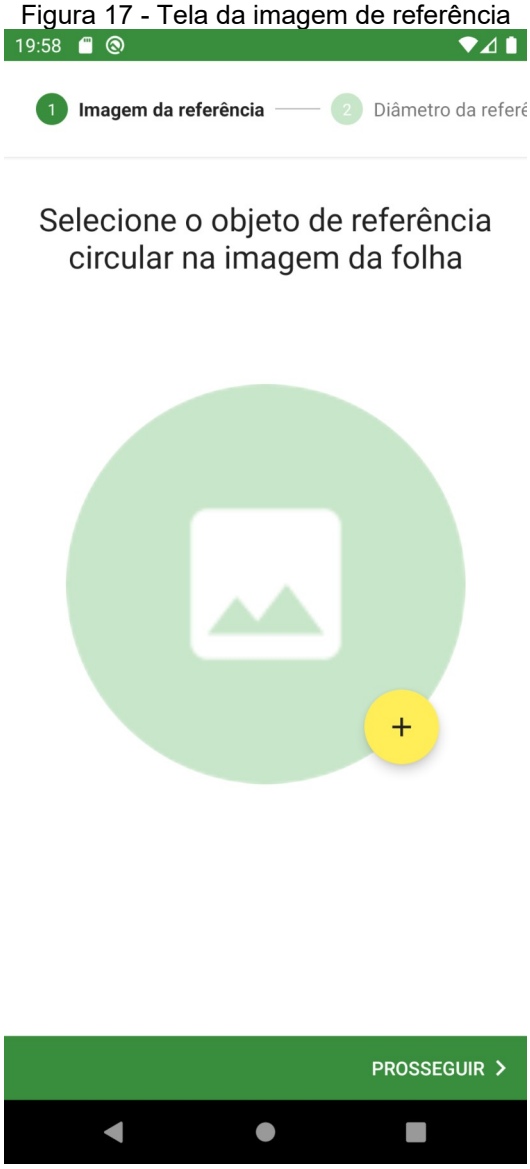
### 4.2.6 Análise

Assim que o usuário escolher a imagem da folha que será usada para a análise, o usuário será guiado em um passo a passo que inicia-se a partir da Figura 16.

#### 4.2.6.1 Objeto de referência

Nesta etapa o usuário precisa selecionar na imagem a região que consta uma referência circular com diâmetro conhecido. Isso é necessário para que a aplicação consiga definir a relação de *pixels* por unidade de comprimento (por exemplo, centímetros). Dessa forma é possível estimar as áreas da imagem. A Figura 17 ilustra a tela desse passo.

Figura 17 - Tela da imagem de referência

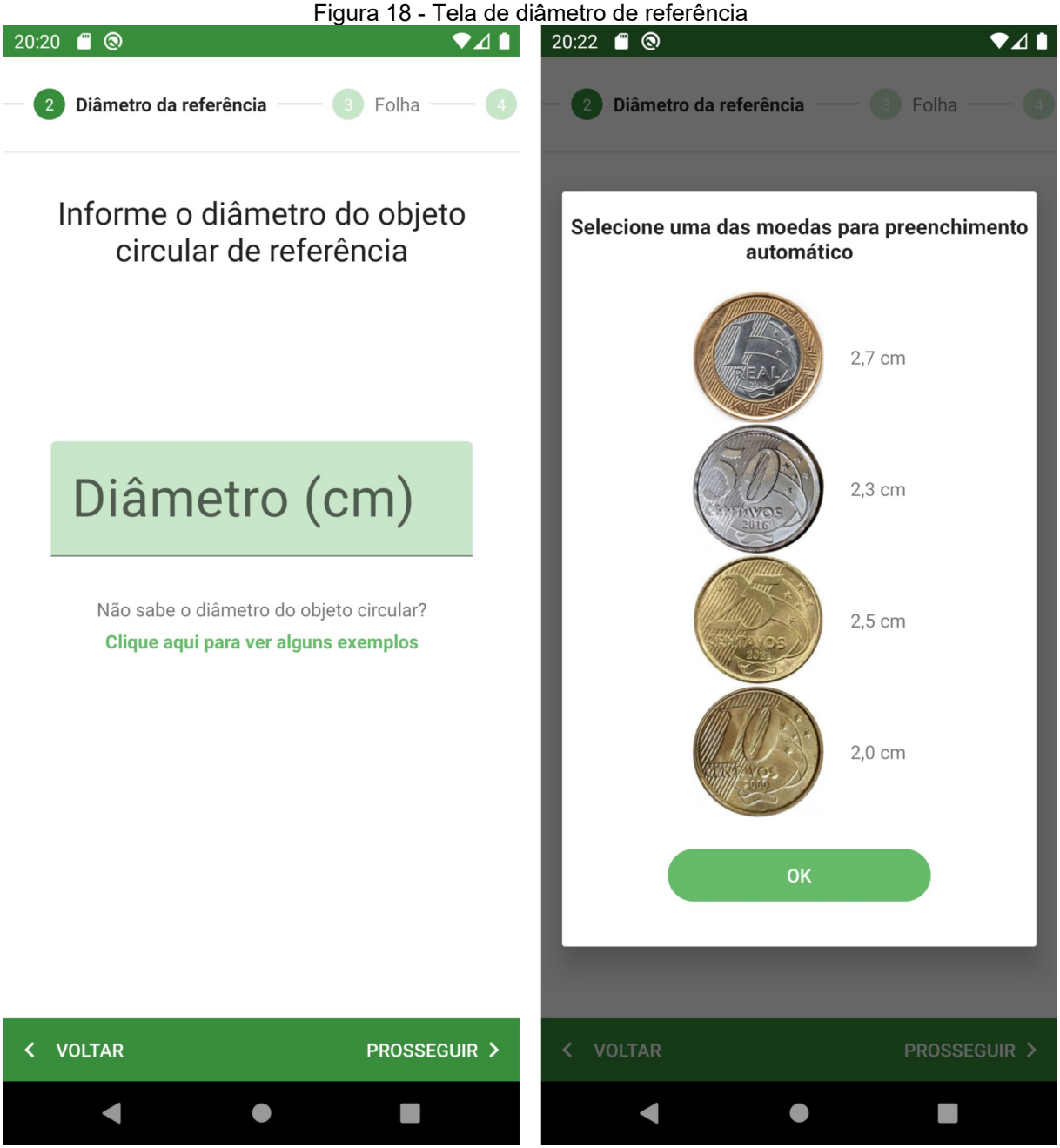



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.2.6.2 Diâmetro do objeto de referência

Nesse passo o usuário precisa informar o diâmetro, em centímetros, do objeto circular de referência, conforme Figura 18(a). Pode-se optar por informar um valor qualquer ou selecionar um valor pré-definido ao clicar no link “Clique aqui para ver alguns exemplos”. Ao pressionar esse link será exibida uma janela *pop-up* conforme o subitem b da Figura 18, com as imagens de moedas brasileiras com os seus respectivos diâmetros em centímetros. Uma vez que o usuário toque na imagem de uma moeda, a janela fecha e o diâmetro é automaticamente preenchido na tela.

Figura 18 - Tela de diâmetro de referência




(a) Tela com o estado inicial (b) Janela para seleção de moeda

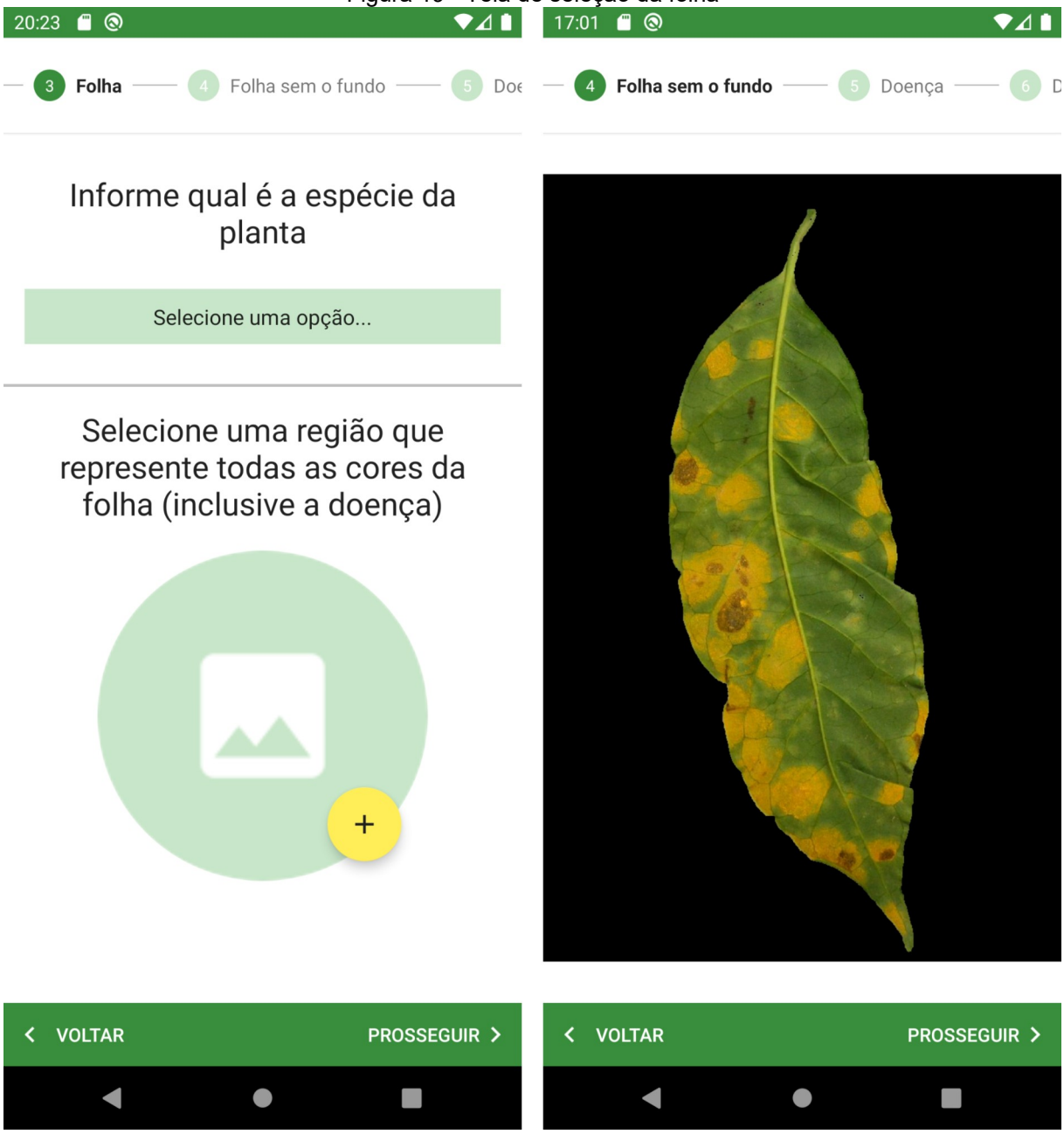
Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.2.6.3 Segmentação da folha

Na Figura 19(a) é ilustrada a tela responsável por solicitar ao usuário que o mesmo informe a espécie da planta e selecione na imagem uma região que representa todas as cores da folha, incluindo as cores dos sintomas da doença. É a partir dessa etapa que é possível ser realizada a segmentação da folha.

Assim que o usuário pressionar o botão “Prosseguir”, a próxima tela, representada pela Figura 19(b) exibirá a folha segmentada. Caso a segmentação não esteja adequada, isto é, alguma parte considerável da folha não for considerada ou alguma região do *background* for selecionada nesse processo, então o usuário poderá clicar em voltar e escolher uma nova região que representa a folha e verificar o resultado da segmentação novamente.

Figura 19 - Tela de seleção da folha



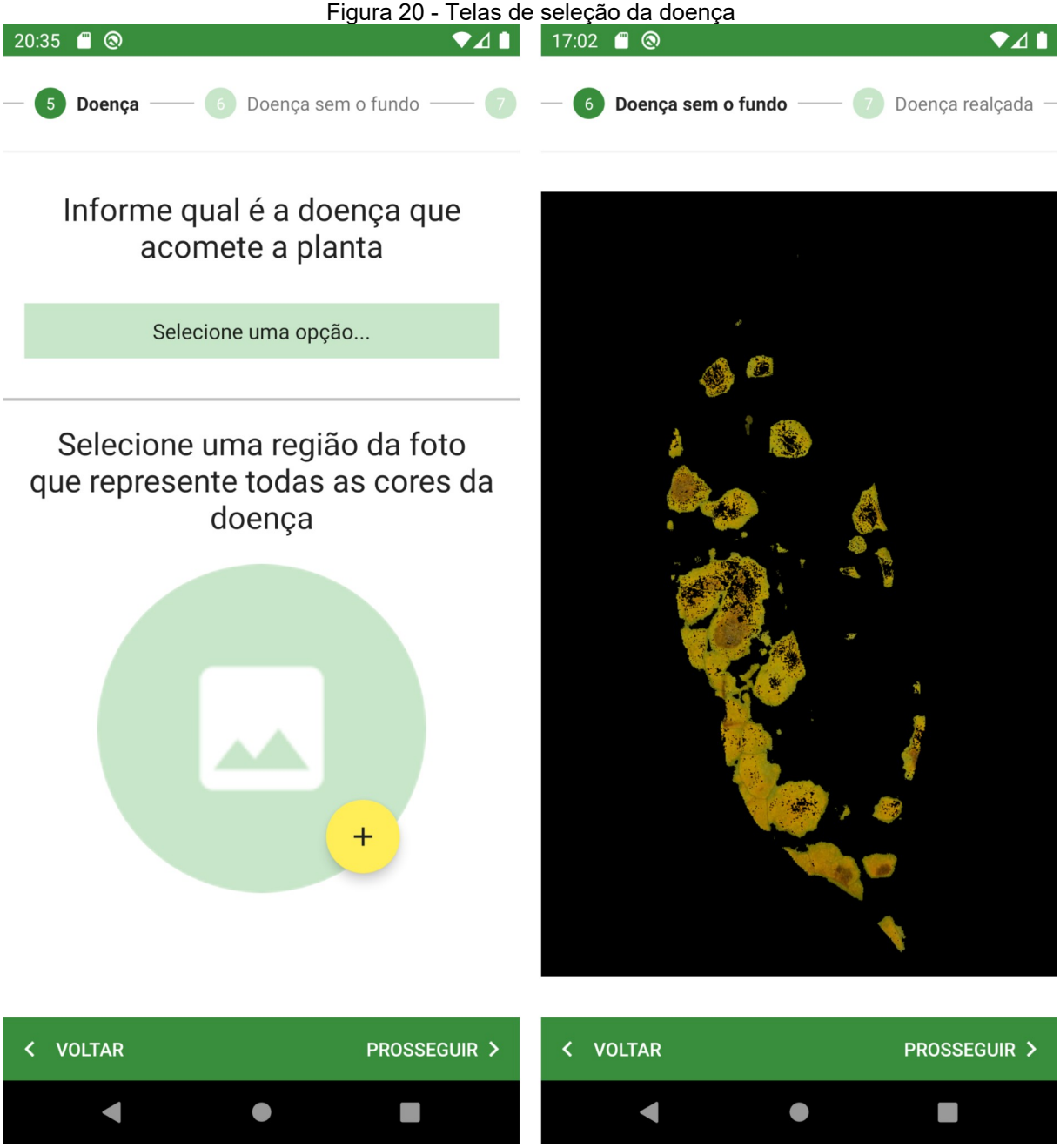

(a) Tela para seleção da região da folha (b) Tela com a folha segmentada

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.2.6.4 Segmentação da doença

De forma parecida à seleção da representação da folha, nesta tela, apresentada pela Figura 20(a), é solicitado que o usuário selecione a região da imagem que representa todas as cores que correspondam aos tecidos doentes. Além disso, deve ser informado qual doença acomete a folha. Na tela seguinte, isto é, subitem (b) da mesma Figura 20, é exibida a segmentação dos tecidos sintomáticos.

Figura 20 - Telas de seleção da doença



(a) Tela para seleção da região da doença (b) Tela com a doença segmentada

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.2.6.5 Região doente pelo aplicativo vs região doente real

Na Figura 21 é apresentada a região doente considerada pelo sistema na cor azul e a região amarela representa a real doença que não foi detectada como tal. Essa tela é importante para saber qual o nível de precisão que o usuário conseguiu adquirir realizando a análise supervisionada.

Figura 21 - Tela da doença realçada

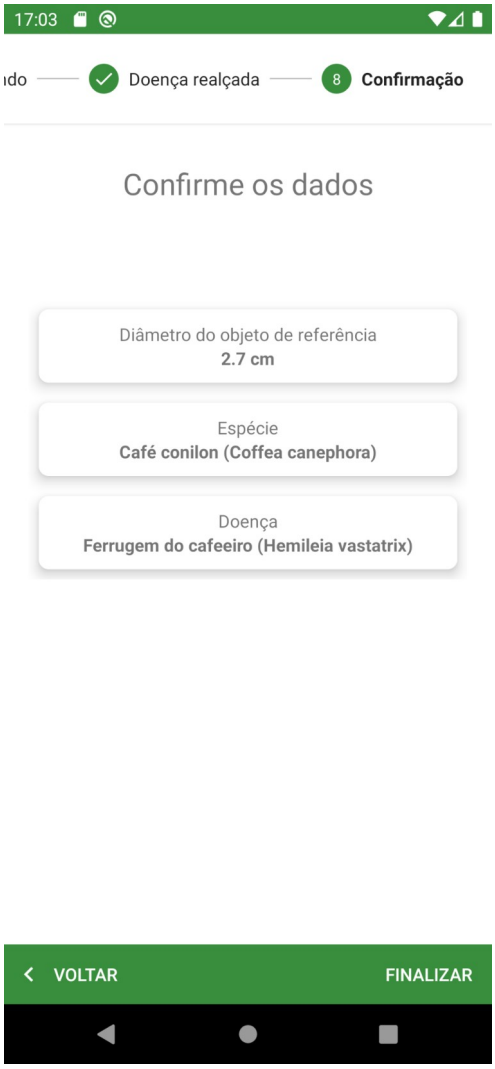
Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.2.6.6 Confirmação dos dados

A Figura 22 apresenta a tela responsável por exibir os dados de confirmação antes

de finalizar a análise. Caso os dados estejam de acordo com o esperado, basta o usuário pressionar o botão “Finalizar”.

Figura 22 - Tela da confirmação dos dados




Fonte: Autoria própria (2023)

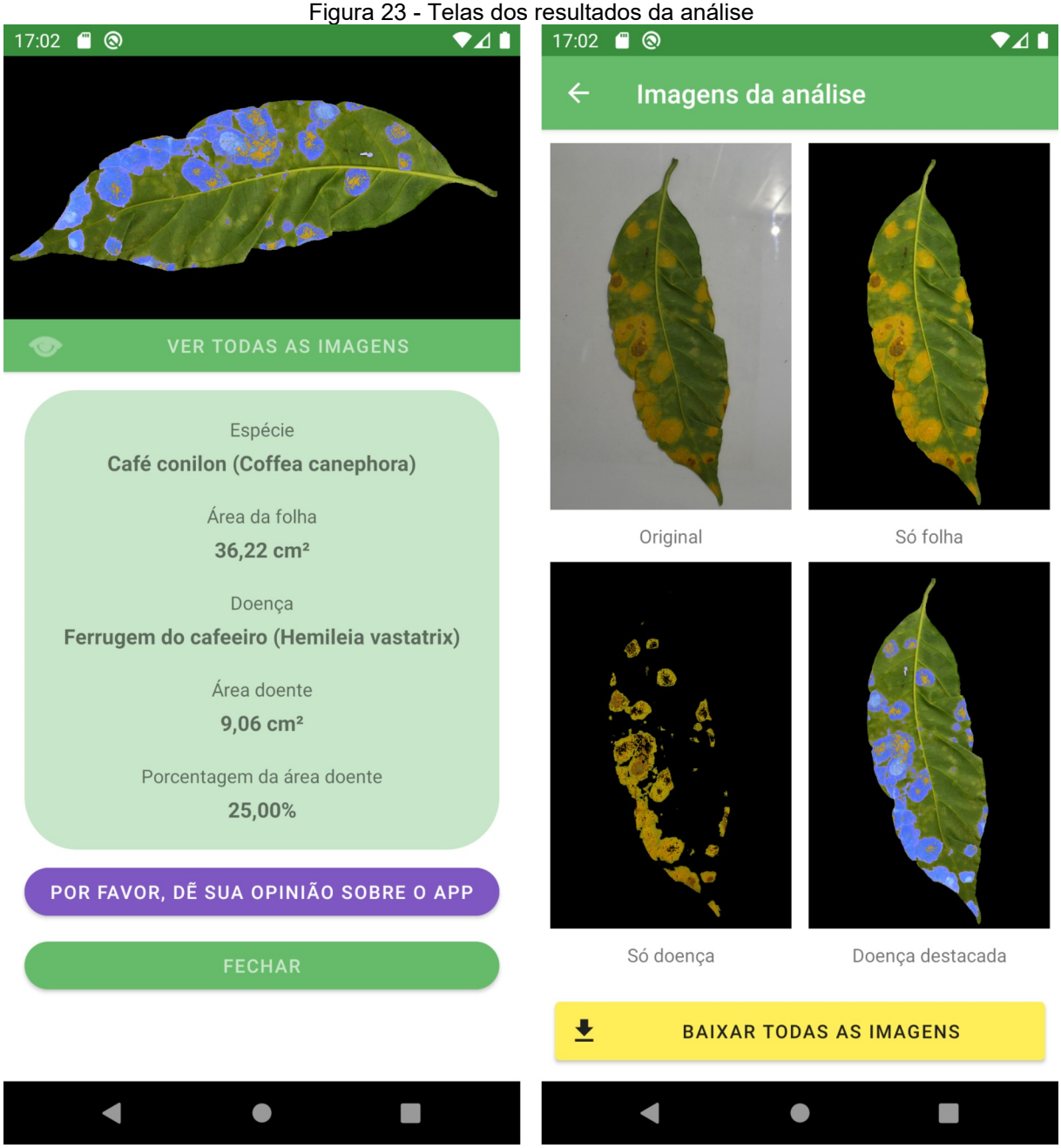
#### 4.2.6.7 Resultado da análise

No subitem (a) da Figura 23 é ilustrada a tela de resultado da análise, a qual exibe as áreas da folha e da doença estimadas, porcentagem da área doente, espécie e doença informada.

Ao usuário tocar sobre o botão “Ver todas as imagens” é aberta a tela da Figura 23(b) com todas as imagens da análise, a saber, imagem original, folha segmentada,

doença segmentada e doença realçada por cima da folha segmentada. Ao clicar sob uma dessas imagens, a mesma será expandida e o usuário consegue alternar para cada uma ao arrastar o dedo para o lado. Além disso, o usuário pode efetuar o download de todas essas imagens ao clicar no botão “Baixar todas as imagens”.

Figura 23 - Telas dos resultados da análise




(a) Dados da severidade (b) Todas as imagens da análise

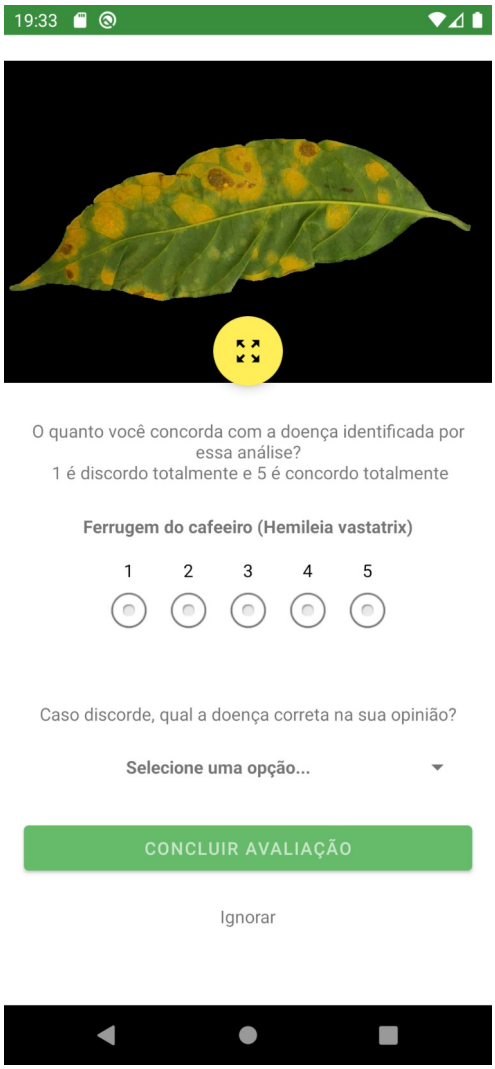
Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.2.7 Tela de avaliação de análises de outros usuários

Na Figura 24 pode-se observar a tela que permite o usuário avaliar as Análises

Técnicas feitas por outros usuários. Essa tela é exibida assim que o aplicativo estiver aberto e o usuário estiver logado. Além disso, a análise é selecionada aleatoriamente e garantido que o usuário não terá que avaliá-la novamente em algum momento futuro. Nesse sentido, caso o usuário não concorde com a doença informada ele pode selecionar qual ele sugere como a correta.

Figura 24 - Tela de avaliação de análise de outro usuário




Fonte: Autoria própria (2023)

## 4.3 Comparações dos resultados com o software QUANT

Para o estudo de caso da comparação foram analisadas dez amostras de folhas de café acometidas pela ferrugem do cafeeiro. Além disso, foi considerado o critério de maior variação possível por nível de severidade dos tecidos doentes. Na Tabela 2 estão os dados das comparações e no Gráfico 1 é apresentado um gráfico em

barras desses resultados.

Tabela 1 - Comparação dos resultados deste trabalho com o software QUANT

| Amostra | Severidade da doença (%) | |
|---|---|---|
| | QUANT | inLeaf |
| 1 | 4,44 | 6,00 |
| 2 | 1,01 | 1,00 |
| 3 | 22,36 | 36,00 |
| 4 | 23,85 | 19,00 |
| 5 | 0,38 | 0,00 |
| 6 | 1,36 | 1,00 |
| 7 | 39,26 | 41,00 |
| 8 | 53,76 | 46,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 5,01 | 3,00 |

Fonte: Autoria própria (2023)

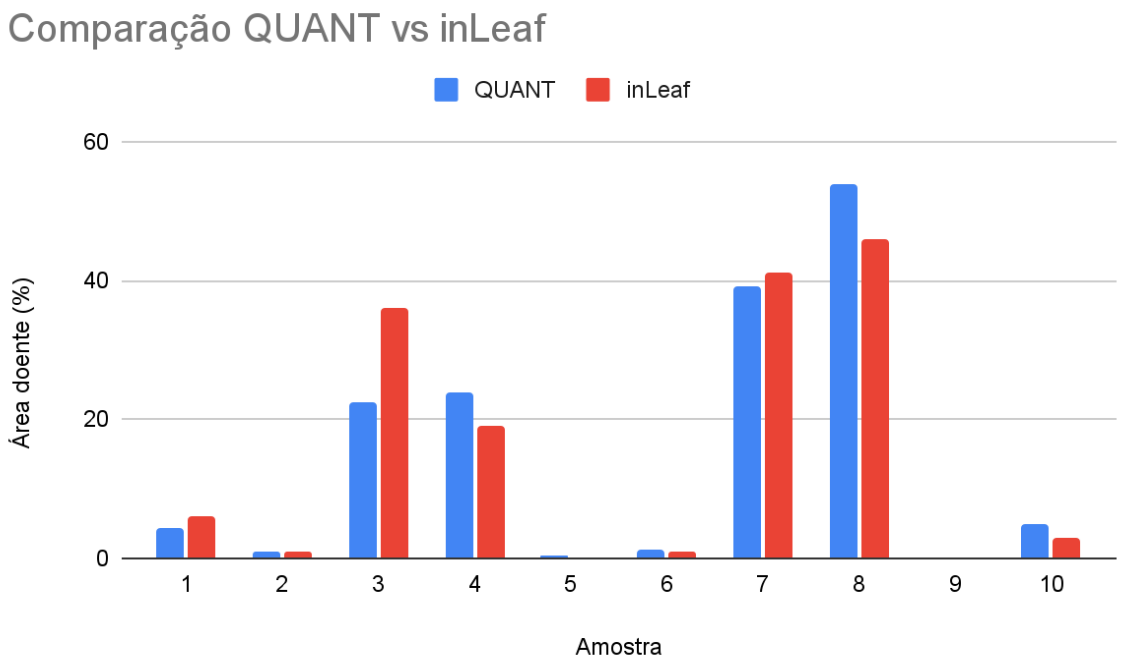
Os dados apresentados na Tabela 1 mostram uma diferença considerável entre as medidas geradas por ambos os sistemas. Por um lado, o QUANT, por depender de um esquema de fotografia e *scanner*, oferece resultados que, supomos, podem ser mais precisos, visto que o procedimento é realizado em um ambiente controlado. Por outro lado, o inLeaf, um aplicativo móvel que permite que as fotografias sejam tiradas e analisadas diretamente em um *smartphone*, apresenta maior conveniência e portabilidade, mas os resultados variam significativamente em alguns casos em relação ao QUANT.

Por exemplo, na amostra 3, o inLeaf indicou uma severidade de doença significativamente maior em comparação com o QUANT. Esta discrepância pode ser atribuída a vários fatores. É possível que as condições de iluminação ou a qualidade da câmera do *smartphone* estejam afetando a capacidade do inLeaf de avaliar com precisão a severidade da doença. Da mesma forma, as amostras 4 e 8 apresentaram uma inversão desta tendência, com o QUANT indicando maior severidade em comparação com o inLeaf. A variação nestes resultados pode ser uma indicação da necessidade de calibração ou ajuste das áreas de seleção na imagem do inLeaf.

Em contrapartida, para as amostras 2, 5, 6, e 9 os resultados foram bastante similares, indicando que o inLeaf é capaz de fornecer resultados comparáveis ao QUANT sob certas condições. Isso sugere que o aplicativo pode ter aplicações úteis, especialmente em situações onde o acesso a laboratórios e equipamentos é limitado.

Em suma, embora o inLeaf ofereça a conveniência da portabilidade e a facilidade de uso, os resultados sugerem que sua precisão ainda pode ser aprimorada. É importante ressaltar que esses resultados preliminares não invalidam o potencial do inLeaf, mas sim indicam áreas onde melhorias podem ser realizadas para tornar o aplicativo uma ferramenta mais adequada na detecção da severidade da ferrugem do cafeeiro.

Gráfico 1 - Comparação das áreas doentes do QUANT vs inLeaf




Fonte: Autoria própria (2023)

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho foi concluído o desenvolvimento de um aplicativo *mobile,* denominado inLeaf, feito para sistemas operacionais Android com a finalidade de detectar, de forma supervisionada, doenças de folhas de plantas, bem como o tamanho e percentual da área foliar doente.

Conforme realizado o estudo de caso para a doença de ferrugem do cafeeiro, a aplicação desenvolvida mostrou potencial para auxiliar em atividades que exigem estimativa da severidade de tal doença. Assim, pode-se tornar uma solução alternativa às ferramentas já utilizadas pelos profissionais da área para esse propósito. Embora outras doenças, nem outras plantas foram avaliadas, observa-se que o sistema apresenta um potencial de ser utilizado na avaliação das demais doenças do cafeeiro e de outras espécies de plantas. Além disso, por ser um aplicativo portátil, pode oferecer mais praticidade e dinamismo durante a avaliação da amostra, especialmente em campo.

Um banco de dados de análises técnicas foi criado com o propósito de servir como um ponto de consenso entre os usuários profissionais acerca das amostras utilizadas no aplicativo. Para tanto, os profissionais podem avaliar as análises de outros usuários, de forma anônima. Com isso, pode-se ter em dado momento, uma base relativamente robusta sobre as doenças das plantas.

### 5.1 Melhorias e trabalhos futuros

Dado o problema, conforme citado na seção de resultados, sugere-se que seja permitido que o usuário selecione várias regiões na folha para representar a doença. Com isso, espera-se que resultados melhores sejam obtidos, pois a tendência é que o algoritmo consiga detectar uma região maior de *pixels* que representam as regiões sintomáticas.

Sugere-se também que o modo de persistência *offline* seja desenvolvido para a aplicação, permitindo que o usuário consiga realizar as análises sem precisar estar conectado à *Internet*.

Além disso, sugere-se que a etapa de seleção de objeto de referência seja opcional. Dessa forma, o usuário terá um fluxo menor, porém com apenas a porcentagem da

área doente como resultado. Isso pode ser útil se o usuário não tiver no momento da análise um objeto referencial ou se ele deseja apenas a relação de porcentagem da severidade da doença.

Outra sugestão de melhoria é permitir que o aplicativo consiga estimar as regiões pela informação de resolução da imagem.

Embora a lista de doenças pré-fixadas utilizadas no aplicativo pareça ser suficiente, sugere-se que a aplicação permita ao usuário digitar o nome da doença caso não seja uma das listadas na etapa de análise.

Os bancos de dados das análises técnicas e das avaliações dos usuários podem ser utilizados como entrada para treinar métodos baseados em inteligência artificial a fim de obter uma automação no ato de reconhecimento das doenças e das plantas.

Por fim, vale ressaltar que embora o estudo de caso da aplicação foi realizado apenas para a doença da ferrugem do cafeeiro, este trabalho sugere que sejam avaliados os casos para as diversas outras doenças do café, além de outras espécies de plantas e suas doenças foliares.

## 6 REFERÊNCIAS


BELAN, L. L.; BELAN, L. L.; MATTA RAFAEL, A.; GOMES, C. A. G.; ALVES, F. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B. Standard area diagram with color photographs to estimate the severity of coffee leaf rust in Coffea canephora. Crop Protection 130, 2020.

BELAN, L.L.; JESUS JUNIOR, W.C.; SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L.; BARBOSA, D.H.S.G. MORAES, W.B;. Management of coffee leaf rust in *Coffea canephora* based on disease monitoring reduces fungicide use and management cost. European Journal of Plant Pathology 156, p. 683–694, 2020.

BOCK, C.H.; BARBEDO, J.G.A.; DEL PONTE, E.M; BOHNENKAMP, D; MAHLEIN, A.K. From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. Phytopathol Res 2, p. 1-30, 2020.

CAPUCHO, A. S; ZAMBOLIM L.; DUARTE, H. S. S; VAZ, G. R. Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in Coffea arabica and C. canephora. Plant Pathology, v. 60, n. 6, p. 1144-1150, 2011.

DEL PONTE, E. M; PETHYBRIDGE, S. J., BOCK, C. H; MICHEREFF, S.J.; MACHADO, F. J; SPOLTI, P. Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. Phytopathology, v. 107, n. 10, p. 1161-1174, 2017.

DO VALE, F. X. R; FILHO, E. I. F.; LIBERATO, J. R; ZAMBOLIM, L. Quant-A software to quantify plant disease severity. International workshop on plant disease epidemiology. v. 1, p. 161, 2001.

DHINGRA, G; KUMAR, V; JOSHI, H. D. Study of digital image processing techniques for leaf disease detection and classification. Multimedia Tools and Applications, v. 77, n. 15, p. 19951-20000, 2018.

ESGARIO, J. G; CASTRO, P. B; TASSIS, L. M; KROHLING, R. A. An app to assist farmers in the identification of diseases and pests of coffee leaves using deep learning. Information Processing in Agriculture, 2021.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 4. ed. New York: Pearson, 2018.

KOLKUR, S; KALBANDE, D; SHIMPI, P; BAPAT, C.; JATAKIA, J. Human Skin Detection Using RGB, HSV and YCbCr Color Models. International Conference on Communication and Signal Processing 2016 (ICCASP 2016). Atlantis Press, p. 324-332, 2016.

KULKARNI, N. Color thresholding method for image segmentation of natural images. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing 4.1. n. 28, 2012.

LAMARI, L. ASSESS: Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. American Phytopathological Society. St. Paul, 2002.

MINAEE, S.; BOYKOV, Y. Y.; PORIKLI, F.; PLAZA, A. J.; KEHTARNAVAZ, N.; TERZOPOULOS, D. Image segmentation using deep learning: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021.

OMG, 2023. Standards Development Organization. About the unified modeling language specification version 2.5.1. Disponível em: https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/About-UML. Acesso em: 26 jul. 2023.

PETHYBRIDGE, S. J.; NELSON, S. C. Leaf Doctor: A new portable application for quantifying plant disease severity. Plant disease, v. 99, n. 10, p. 1310-1316, 2015.

USDA, 2023. United States department of agriculture. Production, supply and distribution. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads. Acesso em: 26 jul. 2023

WALLER, J. M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R. J. Coffee pests, diseases and their

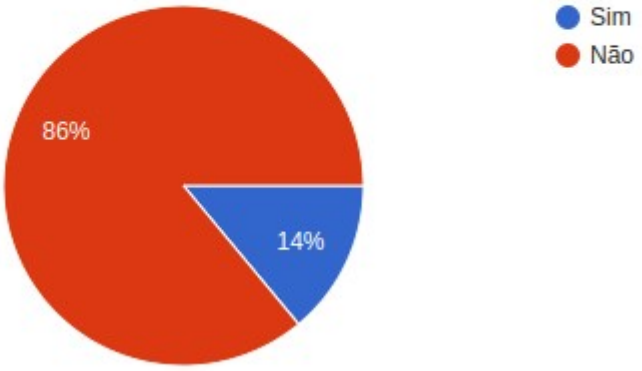
management. CABI, 2007.

# 7 APÊNDICES

## APÊNDICE A - PESQUISA FEITA COM ESPECIALISTAS DA ÁREA

Você conhece outro aplicativo similar?

43 respostas




Se a resposta anterior foi "Sim", informe o nome do aplicativo/software.

5 respostas

- Adama alvo
- ImageJ
- SiTAV
- Ufla
- Plantix

Fonte: Autoria própria (2022)