

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS**

Laércio Nogueira Medeiros

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS FOLIARES EM CAJUEIRO (*Anacardium
occidentale L. var nanum*) ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS**

Macaíba
Junho, 2018

Laércio Nogueira Medeiros

QUANTIFICAÇÃO DE DANOS FOLIARES EM CAJUEIRO (*Anacardium occidentale* L. var *nanum*) ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Josenalde Barbosa de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Wiara de Assis Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Beserra Gomes

Macaíba

Junho, 2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Medeiros, Laércio Nogueira.

Quantificação de danos foliares em cajueiros (*Anacardium occidentale* L. var *nanum*) através do processamento digital de imagens / Laércio Nogueira Medeiros. - 2018.

44 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Escola Agrícola de Jundiaí, Curso de Tecnologia e Análise em Desenvolvimento de Sistemas. Macaíba, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Josenalde Barbosa de Oliveira.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Wiara de Assis Gomes.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Rafael Beserra Gomes.

1. Danos foliares - Monografia. 2. Cajucultura - Monografia. 3. Processamento digital de imagem - Monografia. 4. Agroinformática - Monografia. 5. Smart Farming - Monografia. I. Oliveira, Josenalde Barbosa de. II. Gomes, Wiara de Assis. III. Gomes, Rafael Beserra. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 634.573

Laércio Nogueira Medeiros

QUANTIFICAÇÃO DE DANOS FOLIARES EM CAJUEIRO (*Anacardium occidentale* L. var *nanum*) ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

Prof^o. Dr^o. Josenalde Barbosa de Oliveira - EAJ-UFRN
Orientador

Prof. Dr. Rafael Beserra Gomes DIMAP- UFRN
Coorientador

Prof. Dr^a. Fernanda Aspazia Rodrigues de Araújo
UFERSA

Prof^a. Dr^a. Laura Emmanuella Alves Dos Santos Santana de Oliveira
EAJ-UFRN

Prof. Dr. Taniro Chacon Rodrigues
EAJ-UFRN

Macaíba

Junho, 2018

Dedico de novo:
à minha companheira, Viviane;
aos meus filhos e netos;
a painho e mainha.

AGRADECIMENTOS

Aos que me ajudaram a concluir este trabalho:

Ao meu Deus, pois sem sua ajuda nada teria sido possível.

À minha família pela compreensão das ausências, confiança e apoio.

À minha companheira, meu bem, meu mal.

Aos filhos e netos pelo compartilhamento da felicidade constante.

Aos manos e manas pelas arengas que lapidam a alma.

Ao Clube Náutico Capibaribe, pelas alegrias vivenciadas, CAMPEÃO 2018.

Aos colegas do curso, pelas conversas e apoio durante a jornada.

A todos meus professores da EAJ, pelos ensinamentos compartilhados.

Aos professores Josenalde, Taniro e Laura dos quais não pretendo desgrudar tão cedo ;).

Aos orientadores Josenalde, Wiara e Rafael, por me instigarem, orientar e conduzir este trabalho com sabedoria e paciência.

À música, alimento d'alma.

À direção, aos outros professores e funcionários da EAJ que, mesmo sem saber, me ajudaram imensamente, sempre gentis em me atender durante meu alunado na instituição.

Aos colabores nas edições de imagens.

À turma do SADA, MAL-MAL que ao longo do curso foram solícitos às minhas limitações e dificuldades. Meu eterno amor e admiração: Tutu (Arthur), Brasil, Elidiel, Filipe, Heriberto, Iaslan, Joel e Xaid (Felipe).

RESUMO

A área foliar é importante para as plantas, pois através da fotossíntese realizada nas folhas ocorre a transformação da energia luminosa em energia química. A redução da área foliar interfere no metabolismo normal da planta, bem como, na produção e qualidade dos frutos. O presente trabalho objetivou desenvolver um software utilizando técnicas de processamento digital de imagens (PDI) para quantificar a perda fotossintética nas folhas a partir da sua imagem digital. Para produção das imagens digitais foram coletadas 250 folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale L. var nanum*). Os algoritmos de PDI desenvolvidos durante o trabalho tiveram como resultado o PLANTARES-diagnose foliar, resultado deste trabalho, foi desenvolvido e possibilitou que as imagens e os resultados das análises foliares fossem salvos, permitindo consultas e análises futuras. Essas análises poderão ser usadas para definir ações preventivas de natureza nutricional e/ou fitossanitárias mais adequadas ao manejo das culturas agrícolas em campo.

Palavras-chave: Danos Foliares, Cajucultura, Processamento Digital de Imagem, Agroinformática, Smart Farming.

ABSTRACT

The leaf area is important for the plants, because through the photosynthesis carried out on the leaves, the transformation of light energy into chemical energy takes place. Reduction of leaf area interferes with normal plant metabolism, as well as fruit yield and quality. The present work aimed to develop software using digital image processing techniques (PDI) to quantify the photosynthetic loss in the leaves from their digital image. For the production of digital images 250 leaves of cashew (*Anacardium occidentale* L. var *nanum*) were collected. The PDI algorithms developed during the work resulted in PLANTARES-foliar diagnosis, the result of this work, was developed and allowed the images and the results of the foliar analyzes to be saved, allowing for future consultations and analyzes. These analyzes may be used to define preventive actions of a nutritional and / or phytosanitary nature more appropriate to the management of agricultural crops in the field.

Keywords: Foliar Damage, Caju crop, Digital Imaging Processing, Agroinformatics, Smart Farming

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Folha do Cajueiro (a) lado adaxial, (b) abaxial.....	16
Figura 2 - Exemplos de danos foliares.....	18
Figura 3 - Etapas do PDI e suas ações, adaptado de Gonzalez & Woods (2000).....	21
Figura 4 - Metodologia de coleta para análise foliar, adaptado de Mesquita (2002).....	23
Figura 5 - Coleta das folhas de cajueiro.....	23
Figura 6 - Aquisição de Imagens: (a) Suporte para celular, (b) EVA azul (c) Aplicativo Nível de Bolhas.....	25
Figura 7 - Criando pontos de interpolação. (a) imagem de entrada, (b) imagem preparada e (c) imagem complementada.....	25
Figura 8 - Pecíolo da folha.....	26
Figura 9 - Imagem em seus canais individuais: (a) canal R, (b) canal B	27
Figura 10 - Histograma da Imagem Resultante.....	28
Figura 11 - Representação das áreas com danos foliares.	29
Figura 12 - Imagens de referência <i>ground-truth</i>	30
Figura 13 - Matriz Confusão (modelo).....	31
Figura 14 - Identificação dos danos foliares.....	33
Figura 15 - Tela do PLANTARES-diagnose foliar.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos com análise foliar	18
Tabela 2 – Trabalhos realizados utilizando PDI	21
Tabela 3 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo1	32
Tabela 4 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo2	32
Tabela 5 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo3	32
Tabela 6 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo4	32
Tabela 7 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo5	32
Tabela 8 – Acurácia do código remoção do fundo da imagem	33
Tabela 9 – Resultados do PLANTARES – diagnose foliar (exemplo)	36
Tabela 10 – Comparativo entre os programas	38

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Justificativa	13
1.2.	Objetivos	14
1.2.1.	Objetivo geral	14
1.2.2.	Objetivos específicos	14
1.3.	Organização do trabalho	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1.	Folha.....	16
2.2.	Análise foliar	17
2.3.	Processamento Digital de Imagens	20
2.4.	Softwares aplicados à análise foliar.....	21
2.4.1.	BioLeaf	22
2.4.2.	Leaf Doctor.....	22
2.4.3.	Easy Leaf Area.....	22
2.4.4.	PLANTIX	22
3.	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	23
3.1.	Coleta das folhas	23
3.2.	Etapas do Processamento Digital de Imagens	24
3.2.1.	Base de conhecimento.....	24
3.2.2.	Aquisição de imagens	24
3.2.3.	Pré-processamento	26
3.2.4.	Segmentação	27
3.2.5.	Representação e descrição.....	29
3.2.6.	Reconhecimento e interpretação	29
3.3.	Análise dos códigos.....	29
3.3.1.	Código remover fundo.....	30
3.3.2.	Identificação de danos	33
3.3.3.	Quantificação dos danos foliares	34
4.	PLANTARES-DIAGNOSE FOLIAR	35
5.	BATE-BOLA ENTRE OS SOFTWARES	37
6.	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de alimentos é suficiente para atender a população global (IANDOLI, 2016), todavia a fome ainda é um problema mundial, pois 815 milhões é o número de pessoas que estão inseridas neste grupo (FAO, 2017). A formação deste grupo se dá através das falhas na distribuição de alimentos (RIZZO, 2017), das concentrações de renda e da produção (IANDOLI, 2016), do desperdício, que segundo a FAO (2017) esse número chega a 30% da produção anual, ou...

...das políticas neoliberais aplicadas à agricultura e ao comércio mundial de alimentos. São elas, portanto, responsáveis pela crise que se abateu sobre os alimentos na atualidade. Ela é em síntese, o resultado da total incapacidade do mercado para construir uma política mundial de segurança ou de soberania alimentar (DE OLIVEIRA, 2008).

Ainda sobre produção alimentar, a FAO (2009) estima que a população do planeta em 2050 chegue aos 9,1 bilhões de habitantes implicando na necessidade de aumentar em 70% esta produção, considerando os limites dos recursos naturais, para garantia da segurança alimentar.

Parte da produção de alimentos é oriunda da agricultura, que além de ser uma fonte importante de energia e apresentar-se como solução para o aquecimento global (GHAIWAT, 2014), também é responsável pela produção alimentar.

A produção agrícola do Brasil em 2016 teve um acréscimo de 20% em relação à produção do ano anterior, totalizando R\$ 317,5 bilhões, deste montante a fruticultura colabora com 10,5% (IBGE, 2017), isto através de uma grande variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas, a fruticultura conquista resultados expressivos e gera aproximadamente 5,6 milhões de empregos (CNA, 2016), apresentando-se, desta forma, como um dos segmentos de maior destaque do agronegócio (JESUS, 2015).

Nativo da Região Nordeste Brasileira, e adaptado em solos de baixa fertilidade, estresse hídrico e altas temperaturas, o cajueiro, é uma planta de grande relevância comercial no Brasil (SERRANO et al, 2016), com perspectiva de crescimento nos mercados nacional e internacional. Sua produção é economicamente viável, pois estima-se uma cadeia com cerca de 30 subprodutos. (ALMEIDA, 2017).

Na década de 1970, através de programas de governo, a cajucultura e o beneficiamento com a industrialização e processamento da castanha são inseridos

comercialmente no Nordeste (VIDAL, 2016), sendo responsável por 99,5% da produção brasileira (IBGE, 2018), e, com efeito, tornou-se uma respeitável fonte de renda na região com geração de 250 mil empregos diretos e indiretos, explorada por 195 mil produtores, destes, 75% são pequenos, com áreas inferiores a 20 hectares (SERRANO et al, 2016).

A produção dos frutos está ligada diretamente à saúde das plantas. Um dos indicativos de avaliação do estado salutar das plantas é a área foliar, pois é através dela que o processo da fotossíntese, transformação da energia luminosa em energia química, acontece. A redução da área foliar interfere diretamente no metabolismo normal da planta, bem como, na produção e qualidade dos frutos. Desta forma, o monitoramento da área foliar torna-se um indicador muito importante.

Desta forma a otimização nos resultados destas análises com respostas mais rápidas e precisas, assim como o armazenamento destas informações tornam-se imprescindíveis para tomadas de decisões do especialista. Neste quesito a Tecnologia da Informação (TI) apresenta-se como ferramenta necessária, na denominada *smart farming*¹, que através do Processamento Digital de Imagem (PDI), utilizando reconhecimento de uma imagem digital de uma folha ou grupo de folhas poderá calcular e quantificar a perda de área foliar fotossinteticamente ativa.

1.1. Justificativa

Os sistemas de produção alternativos têm ocupado cada vez mais posição de destaque no cenário agrícola devido à enfática abordagem de manejo sustentável, redução de impactos no sistema solo-planta-atmosfera, além da conscientização social para segurança alimentar. Nesses sistemas alternativos busca-se a diversificação da produção, e utilização de recursos internos da propriedade, como reciclagem de biomassa de carbono, compostagem orgânica, multiplicação de sementes e outras estratégias que viabilizem a produção agrícola nas propriedades.

Tais agentes sendo eles microbiológicos, biológicos, fisiológicos, e até climáticos em uma ação combinada entre os mesmos, possibilita o desenvolvimento de uma produção consciente, sustentável e capaz de minimizar os impactos ao meio onde são manejadas. Nesse sentido, faz-se necessário a inserção tecnológica

¹ Uso de tecnologias para gerenciamento das informações otimizando a produção e reduzindo riscos, objetivando a eficiência produtiva.

consciente e direcionada para esse tipo de manejo, onde se possam usar ferramentas que auxiliem na tomada de decisão quanto a aspectos práticos em campo.

O desenvolvimento de ferramentas tecnológicas pensadas para esse público possibilita incrementos significativos na produção e na qualidade final do produto colhido, agregando-lhe valor e, potencialmente melhorando a qualidade de vida de famílias que dependem inteiramente da Agricultura Familiar para obtenção de alimentos, além de proporcionar a inserção dessas famílias em nichos de comercialização do excedente produzido na propriedade.

1.2. Objetivos

As seções seguintes descrevem o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1. Objetivo geral

- Desenvolver um aplicativo que identifique e quantifique a área fotossinteticamente ativa e não ativa de uma plantação de cajueiro, a partir de imagens das folhas coletadas, utilizando técnicas do PDI.

1.2.2. Objetivos específicos

- Criar um banco com no mínimo 200 imagens para desenvolvimento do sistema e *benchmark*²;
- Elaborar uma metodologia para a aquisição das imagens das folhas de cajueiro que serão analisadas pelo sistema;
- Possibilitar a análise de um conjunto de imagens;
- Criar um banco de dados que permita análises futuras dos resultados.

1.3. Organização do trabalho

Os conteúdos dos próximos capítulos estão divididos da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** Apresenta a fundamentação teórica;
- **Capítulo 3:** Apresenta a metodologia desenvolvida na execução deste trabalho;

² Conjunto de Testes de Software para avaliação de desempenho.

- **Capítulo 4:** Apresenta o resultado obtido com este trabalho;
- **Capítulo 5:** Apresenta a discussão entre o projeto proposto e outras soluções existentes;
- **Capítulo 6:** Apresenta a conclusão do trabalho e projetos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo aborda as fundamentações teóricas relacionadas ao objetivo deste trabalho, divididas nos seguintes tópicos e suas respectivas descrições.

- **Folha:** apresenta estudos sobre a importância da folha;
- **Análise Foliar:** apresenta trabalhos sobre danos foliares;
- **Processamento Digital de Imagens:** apresenta trabalhos relacionados com o uso do PDI;
- **Softwares aplicados à análise foliar:** apresenta sistemas desenvolvidos relacionados com análise foliar.

2.1. Folha

A vida na terra depende, em última análise da energia proveniente do sol. A fotossíntese é o único processo de importância biológica que pode aproveitar esta energia. (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Das partes que formam as plantas, a folha é a que mais interage com o meio ambiente e também a mais analisada (RAMOS, 2016), pois é um dos indicadores do estado de saúde da planta.

A folha apresenta duas faces, a face inferior, denominada abaxial, apresenta-se em verde escuro e a adaxial, em um verde mais claro (RAMOS, 2016). Sua anatomia é altamente especializada para absorção da luz (TERESHIMA E HIKOSAKA, 1995), que será parte importante no processo fotossintético (Figura 1).

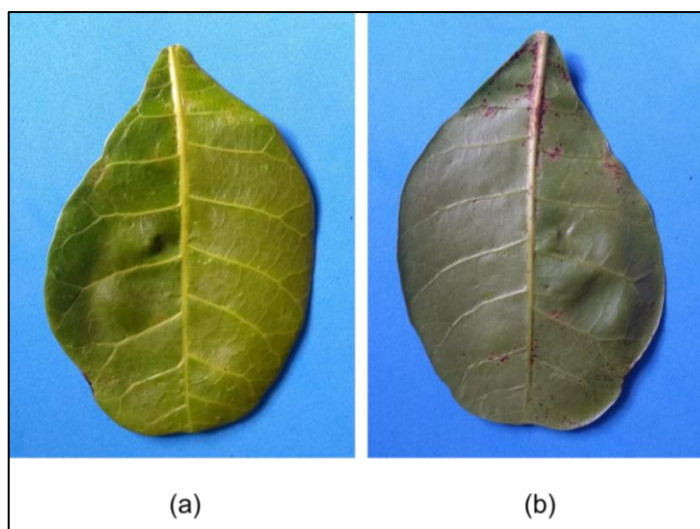


Figura 1 – Folha do Cajueiro (a) lado adaxial, (b) abaxial.
Fonte: autor (2018).

A fotossíntese é o processo da transformação da energia luminosa em energia química necessária ao metabolismo da planta (NASCIMENTO, 2018). Ela é o principal meio de produção dos seres autotróficos, organismos capazes de sintetizar material orgânico a partir de substâncias inorgânicas graças à energia obtida da luz (MELDAU, 2018). O processo da fotossíntese é possível devido à presença dos cloroplastos nas células da folha. Nos cloroplastos encontram-se os pigmentos esverdeados que absorvem a energia luminosa, este pigmento, denominado de clorofila, é o mais abundante nas plantas e possui vários benefícios à saúde (TAIZ; ZEIGER, 2013; COUCEIRO, 2016)

A diagnose foliar é um método que através da análise das folhas pode apontar o estado nutricional de suas respectivas culturas (MALVOLTA, 1989). Este diagnóstico é um desafio constante, observa-se isto através dos estudos realizados que utilizam a análise foliar para avaliações nutricionais ou infestações por agentes microbiológicos. Taiz e Zeiger (2013) relatam que “o impacto do ambiente sobre a fotossíntese é de interesse de fisiologistas vegetais, ecólogos e agrônomos”, pois segundo Kerbauy (2004), é um processo essencial para a vida no planeta.

2.2. Análise foliar

As análises preliminares do estado nutricional das plantas passam invariavelmente pela observação visual humana apresentada pelas folhas (EMBRAPA, 2018).

Os danos foliares podem ser alterações das cores naturais, perdas de áreas oriundas de infestações parasitárias, carência ou excesso de nutrientes no solo ou má formação foliar (MALVOLTA, 1989) (Figura 2). Estes danos trazem grandes prejuízos à produção de frutos, tanto na quantidade quanto na qualidade (MARCON, 2009; GHAIWAT; ARORA, 2014), desta forma, a área foliar se apresenta como um dos parâmetros indicativos de produtividade (FAVARIM, 2002).

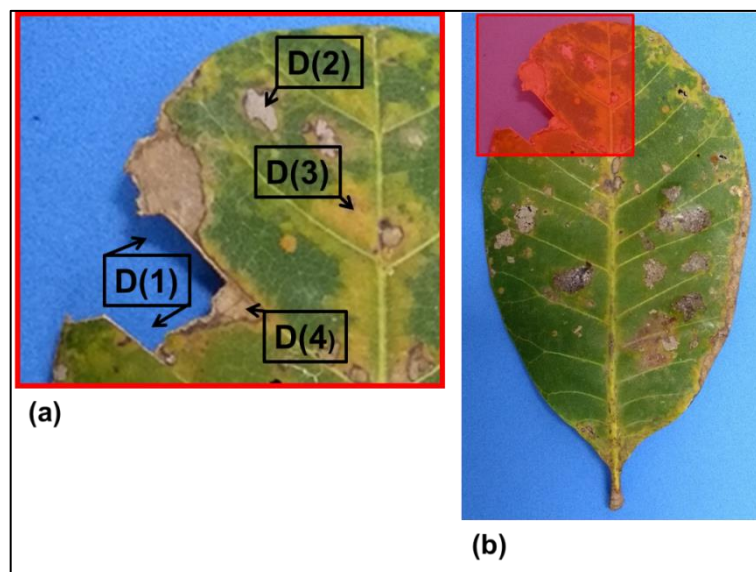


Figura 2 – Exemplos de danos foliares.
Fonte: autor (2018).

Demonstra-se na Figura 2 (a) um *zoom* da parte em vermelho da imagem Figura 2 (b), onde alguns danos (D) são representados. O D(1) identifica o dano causado pela perda física de área foliar, enquanto os demais, (D2, D3 e D4) pelas alterações da coloração.

Na literatura observa-se que vários trabalhos, mesmo em épocas distintas, apresentam objetivos e espécies de plantas diferentes, mas uma característica em comum: a análise foliar. A seguir na Tabela 1 são exibidos diversos trabalhos e seus respectivos objetivos.

Tabela 1 – Trabalhos com análise foliar

Ano	Autor(es)	Objetivo
2017	DIETRICH	Avaliar a variação sazonal dos teores foliares de nutrientes minerais e indicar época para amostragem e interpretação do estado nutricional de macaúba e, avaliar o efeito de doses de nitrogênio e potássio em três acessos de macaúba no início do estágio reprodutivo (sexto e sétimo anos).
2017	MATTOS	Determinar a severidade da doença <i>Septoria lycopersici</i> em plantas de tomateiro, através da análise computacional de imagens digitais de folhas afetadas.

2017	SINGH & MISRA	Apresenta um algoritmo para a técnica de segmentação de imagens que é usado para detecção automática e classificação de doenças foliares de plantas
2016	COUCEIRO et al	Analisar a presença da clorofila na espécie <i>Xanthosoma sagittifolium</i> devido ao seu papel na alimentação e seus benefícios à saúde
2016	NAZARÉ JÚNIOR et al	Propõe um método para a detecção/quantificação automática da área foliar danificada por pragas usando imagens digitais.
2016	RAMOS et al	Analisar características morfológicas das folhas do cajueiro
2016	PIRES	Avaliar o BoVW ³ e o VLAD ⁴ na classificação de doenças foliares da cultura de soja.
2015	ANDRADE e SENER	Utilização de algoritmos de Processamento Digital de Imagens (PDI), com a finalidade de estabelecer um método válido para estimar o estresse nutricional de N (nitrogênio) da cultura do milho.
2014	GHAIWAT & ARORA	Pesquisar diferentes técnicas que podem ser usadas para classificação de doenças nas folhas das plantas.
2012	SCHENATTO et al	Aplicação de algoritmos de Processamento Digital de Imagens (PDI), no desenvolvimento de um protótipo de software para automatização do processo de identificação da presença de doenças em folhas de laranjeiras.
2009	AMARANTE et al	Desenvolver métodos não destrutivos para estimar a área foliar e o conteúdo de clorofila em folhas de plantas jovens de videira 'Cabernet Sauvignon'.
2009	SANTOS	Desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de padrões de plantas invasoras e percentuais de ocupação de folhas largas e folhas estreitas, em

³ *Bag-of-Visual-Words* - Técnica baseada em construir um vocabulário de palavras visuais a partir de pontos de interesse detectados por descritores de pontos locais.

⁴ *Vector of Locally Aggregated Descriptors* – Técnica baseada na representação das palavras visuais por meio de um vetor de diferenças entre a palavra visual e os pontos descritos.

		sistemas de produção agrícola, utilizando técnicas de Processamento Digital de Imagens.
2002	FAVARIM	Estudar a variação temporal do índice de área foliar (IAF) da cultura de café.

A análise foliar está intrinsicamente ligada à observação visual, como é mostrado na maioria dos trabalhos citados na tabela acima, na qual o primeiro passo da análise é a visão humana. Com efeito, a capacidade visual humana é limitada para perceber e interpretar as sutis diferenças existentes na diagnose foliar. É também subjetiva, pois os resultados de diferentes observadores trariam resultados distintos (SCHENATTO, 2012; MATTOS, 2017).

2.3. Processamento Digital de Imagens

As imagens digitais podem ser analisadas para diversos fins em diferentes áreas, e ao aplicar as técnicas do PDI, podem-se realizar coletas específicas de registros (PINHO, 2017), e resultar informações que facilitem as tomadas de decisões.

Segundo Gonzalez & Woods (2009),

“Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional $f(x,y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano) e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x,y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando x , y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, tal imagem é considerada imagem digital, composta de um número finito de elementos com localização e valor específicos chamados pixels (picture elements).”

Para realizar a extração das informações de interesse de maneira precisa, geralmente as imagens carecem de modificações que destaquem seu conteúdo (VALE, 2014), estas modificações são provenientes das etapas do PDI.

Estas etapas são sequenciais e pré-determinadas, isto é, para avançar uma etapa, necessita a realização da anterior. Todavia, nem todos os sistemas de PDI utilizam todas as etapas, pois a utilização depende tanto da aplicação em desenvolvimento quanto da sua finalidade. (SILVA, K. 2017; apud Gonzalez & Woods, 2010) (Figura 3).

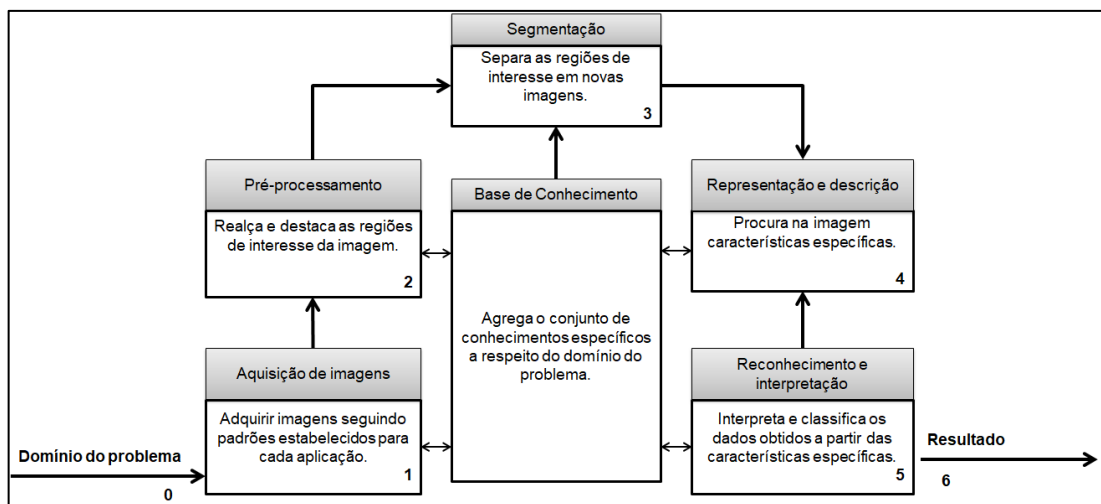


Figura 3 - Etapas do PDI e suas ações, adaptado de Gonzalez & Woods (2000).

De acordo com Mattos (2017) diversas são as áreas que utilizam PDI, são exemplos, a medicina, biologia e agronomia, nesta última, sobretudo, através da análise foliar, a fitopatologia apresenta maior demanda destas tecnologias.

Além dos trabalhos com análise foliar citados anteriormente na Tabela 1, é possível notar trabalhos com temas distintos desenvolvidos utilizando PDI. Trabalhos estes desenvolvidos na EAJ/UFRN (Tabela 2).

Tabela 2 – Trabalhos realizados utilizando PDI

Ano	Autor	Objetivo
2014	VALE	Segmentação automática de imagens microscópicas de componentes sanguíneos e classificação diferencial de leucócitos.
2017	COSTA	Detectar ovos do mosquito <i>Aedes aegypti</i>
2017	SILVA, I.	Associar características físicas da semente de soja com a sua qualidade
2017	SILVA, K.	Classificação de sementes de soja por tamanho

2.4. Softwares aplicados à análise foliar

Nesta subseção serão abordados alguns softwares gratuitos já desenvolvidos como ferramentas auxiliares na análise foliar.

2.4.1. BioLeaf

O BioLeaf, lançado em 2015, é um aplicativo desenvolvido pela UFMS/CPPP⁵, UCDB/Grupo INOVISÃO⁶ com objetivo de quantificar a perda foliar através da reconstrução das bordas das folhas de maneira interativa, disponibilizando para isso curvas e zoom. A aplicação dispõe ainda de quatro idiomas em sua interface, e segundo o fabricante adequa-se às várias culturas.

2.4.2. Leaf Doctor

O Leaf Doctor, desenvolvido em 2017 pelo CTAHR⁷, CornellCALS⁸ e *Adelante Consulting inc.*, é uma ferramenta para avaliar quantitativamente as doenças de plantas, através da coleta de fotografias das folhas. O usuário pode selecionar na imagem capturada, de maneira interativa, até oito cores diferentes que identifiquem os tecidos saudáveis. Após esta seleção, cada pixel é avaliado e a ele é atribuído o estado de saudável ou doente, resultando num percentual de danos foliares.

2.4.3. Easy Leaf Area

É um aplicativo desktop desenvolvido em código aberto para processamento de imagens de rosetas *Arabidopsis*, criado pelo Departamento de Ciências Vegetais da Universidade da Califórnia. O software mede a área foliar utilizando contagem de pixels da imagem. O sistema salva as imagens analisadas, assim como os resultados em arquivo CSV.

2.4.4. PLANTIX

Este aplicativo *mobile*, desenvolvido em 2018, se propõe ao diagnóstico foliar através da detecção de pragas, doenças e carências nutricionais a partir da captura fotográfica através do celular. O software utiliza o aprendizado de máquina para o reconhecimento e interpretação das imagens adquiridas. Após a captura a imagem é enviada ao serviço web do sistema, que, além do resultado, traz também informações sobre tratamentos (convencional ou alternativo) de combate às doenças.

⁵ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Ponta Porã

⁶ Universidade Católica Dom Bosco

⁷ College of Tropical Agriculture and Human Resources

⁸ Cornell University - College of Agriculture and Life Sciences

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta os passos do desenvolvimento deste trabalho, subdivididos nos seguintes temas:

- Coleta das folhas
- Etapas do PDI
- Análise dos códigos

3.1. Coleta das folhas

Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas 250 folhas de cajueiro, no dia 24 de maio de 2018, entre 10h:00min e 12h:00min, no pomar da Escola Agrícola de Jundiá, Macaíba-RN, sob coordenadas geográficas 5°53'24.6" S e 35°21'43.5" W, temperatura média 27°C, precipitações de 0,05 mm.

A coleta foi realizada respeitando os quatro quadrantes localizados na região mediana da planta (SANTOS et al, 1999) de acordo com metodologia agrônômica (Figura 4, Figura 5).

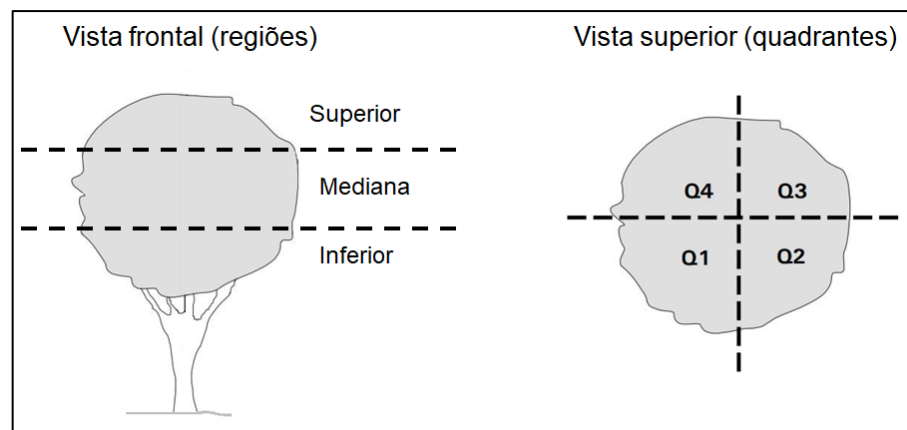


Figura 4 - Metodologia de coleta para análise foliar, adaptado de Mesquita (2002).



Figura 5 - Coleta das folhas de cajueiro.
Fonte: Santos, J. de O. (2018).

3.2. Etapas do Processamento Digital de Imagens

Neste item apresentam-se as etapas do PDI realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

3.2.1. Base de conhecimento

Nessa etapa o especialista ou grupo de especialistas elenca e adiciona seus conhecimentos a respeito do domínio do problema, de acordo com a área de aplicação do sistema.

A construção da base de conhecimento deste trabalho deu-se através de entrevistas à especialista agrônoma, na qual se observou a folha e suas características, a relevância do processo fotossintético, destacando a importância da análise foliar como indicador de saúde da planta, e consequentemente na identificação das regiões de interesse, ou seja, os danos foliares.

3.2.2. Aquisição de imagens

Esta é a etapa na qual as imagens com o problema de interesse são capturadas. É importante frisar que, de maneira geral, para que o estudo obtenha maior eficiência nos resultados, um dos pré-requisitos nesta captura é a qualidade da fotografia.

As imagens foram capturadas com um celular MotoG5. Com o propósito de melhorar a qualidade da fotografia e otimizar o tempo da aquisição, utilizou-se um suporte para celular com a finalidade de mantê-lo fixo facilitando a focalização da folha e um conector USB para o mouse para facilitar o clicar do tirar a foto. Além destes objetos instalou-se no celular utilizado o aplicativo Nível de Bolhas – *Bubble level*, para manter o celular no nível durante a aquisição.

Ainda sobre os materiais utilizados, trabalhos recentes (SILVA, I., 2017; SILVA, K., 2017) sugerem o uso de uma Espuma Vinílica Acetinada (EVA) azul como fundo da imagem adquirida por ser opaco e refratar a luz (Figura 6).

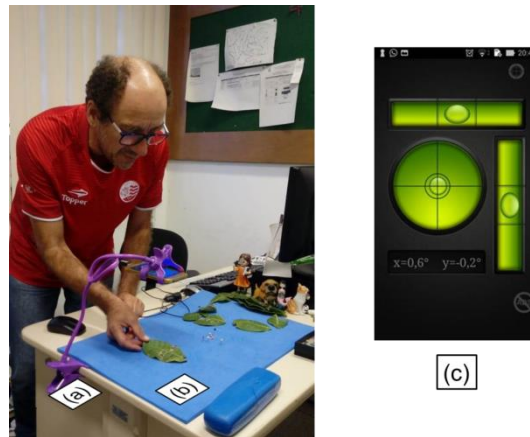


Figura 6 - Aquisição de Imagens: (a) Suporte para celular, (b) EVA azul (c) Aplicativo Nível de Bolhas.

Fonte: Silva, K.A.M. da (2018).

Particularmente neste trabalho uma justificativa faz-se necessária, pois os danos foliares se apresentam tanto na alteração de cor quanto na perda de área foliar propriamente dita. Com intuito de contemplar o maior número de situações possíveis dos danos foliares, inclusive aumentando a margem de acerto do sistema proposto, percevejos escolares foram utilizados nas folhas que apresentaram perdas nas bordas representando os pontos de interpolação da envoltória convexa, complementando a área perdida. Não foram utilizados percevejos nas cores verde, azul e amarelo devido às semelhanças dos objetos da imagem (Figura 7).

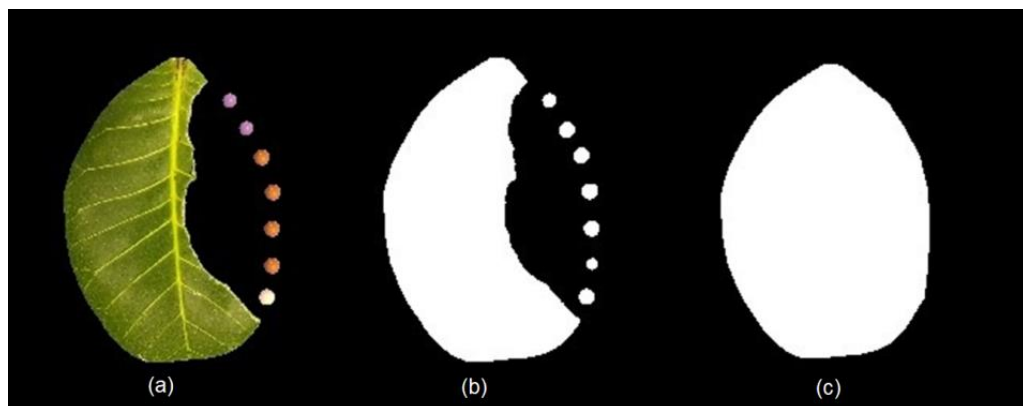


Figura 7 - Criando pontos de interpolação. (a) imagem de entrada, (b) imagem preparada e (c) imagem complementada.

Fonte: autor (2018).

Com intuito de facilitar a inserção dos percevejos, criou-se um plano cartesiano sobre a EVA azul, lado que será o fundo da imagem, com caneta esferográfica azul, com intervalos de aproximadamente 0,5 centímetros entre os pontos. Estes pontos serviram de guia para os percevejos.

A utilização de artefatos manuais como facilitadores no processo de aquisição encontra-se também em SAPL⁹ (2015) e Silva, K. (2017), no primeiro utilizou-se um esparadrapo de cor branca para separar os objetos de estudos, reduzindo assim o número de imagens capturadas durante a aquisição, no segundo, uma moeda como métrica para calcular o tamanho da semente.

Justificativa importante: a partir da implantação deste recurso nota-se que a função utilizada interpolava as extremidades do pecíolo e das bordas esquerda e direita da folha, resultando numa parte de folha inexistente. Por isso, fez-se necessário o corte do pecíolo, indicado pela seta amarela na Figura 8.



Figura 8 – Pecíolo da folha

As folhas da coleta foram colocadas individualmente sobre o EVA personalizado, com o lado adaxial para cima, pois esta é a face da folha onde a incidência solar é maior e a reação fotossintética é predominante.

As imagens foram capturadas no modo automático sem flash, de cima para baixo, em um ângulo de 90 graus da folha e apresentaram as seguintes propriedades: 24 bits, abertura do diafragma f/2, velocidade do obturador 1/40s, ISO-entre 200 e 250, 72 DPI e resolução de 3264 x 1836 pixels.

3.2.3. Pré-processamento

Nesta etapa o objetivo é destacar as regiões de interesse da imagem capturada na etapa anterior, na maioria das vezes gerando uma nova imagem, que em PDI, é denominada de máscara. Este destaque é importante, pois facilitará a separação do problema a ser analisado na etapa seguinte.

De maneira sucinta, nesta etapa do projeto o pré-processamento ocorre em dois momentos. Primeiramente *removeFundo*, que realiza operações entre as camadas do padrão RGB (Vermelho, Verde e Azul), para separação dos objetos, folha e fundo, e *identificaDanos*, que realiza operações entre as camadas do

⁹ Sistema de Análise de Plântulas – UFRN-EAJ

padrão RGB e CMYK (Ciano, Magenta, Amarelo e Preto), na identificação da parte de interesse (Pseudocódigo 1).

```
#passos do removeFundo

1. Im1 ← imagem;
2. R ← Camada vermelha da Im1;
3. B ← Camada azul da Im1;
4. ImRemoveFundo ← Operações entre as camadas R e B;

#passos do identificaDanos

1. R ← Camada vermelha da ImRemoveFundo;
2. G ← Camada verde da ImRemoveFundo;
3. Im2 ← ImRemoveFundo em CMYK;
4. C ← Camada ciano de Im2;
5. Y ← Camada amarelo de Im2;
6. ImDano ← Operações entre as camadas R, G, C e Y;
```

Pseudocódigo 1 – Pré-processamento

As imagens resultantes desta etapa serão utilizadas cada uma em seu momento, de acordo com o propósito, na fase seguinte, a segmentação (Figura 9).

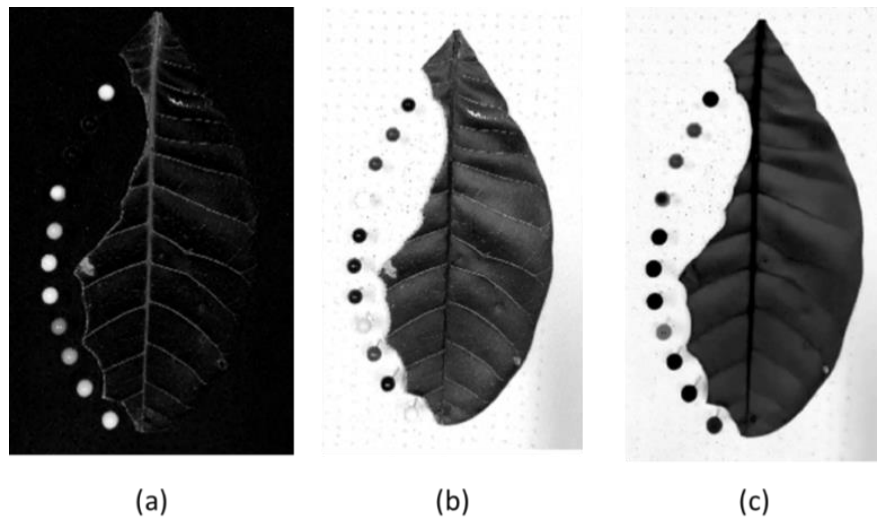


Figura 9 - Imagem em seus canais individuais: (a) canal R, (b) canal B e o (c) resultado da diferença de B-R. Fonte: autor (2018).

3.2.4. Segmentação

O objetivo desta etapa é separar as regiões a serem analisadas e Segundo Silva, K. (2017) é uma das etapas mais difíceis da aplicação. Todavia antes de abordar o tema, é necessário um entendimento prévio do conceito do que é histograma e limiarização.

O histograma é a quantidade de pixels nos níveis de cinza da imagem e a limiarização consiste, após análise do histograma, em quantificar os níveis de cinza dos objetos que compõem a imagem (SILVA, K., 2017) e determinar um ponto limite que separa os objetos de interesse dos de não interesse (Figura 10).

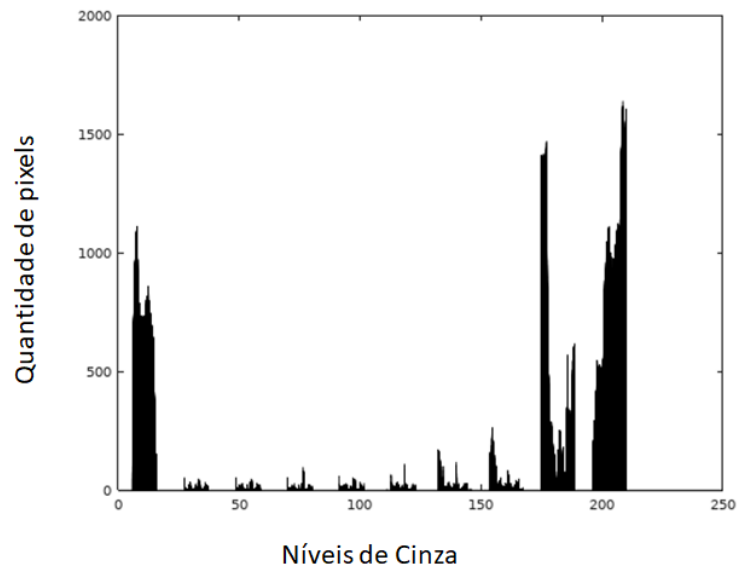


Figura 10 - Histograma da Imagem Resultante.
Fonte: autor (2018).

A limiarização pode ser automática ou manual. No primeiro modelo, o próprio algoritmo encontra o limiar de separação dos objetos na imagem. No segundo, o limiar é fixo, ou seja, inserido diretamente no código, mas independente do tipo, ambos tem o mesmo objetivo, atribuir um valor ao pixel caso ele atenda à condição (Pseudocódigo 2).

```
se pixel > limiar
    então pixel recebe cor_1
senão
    recebe cor_0
```

Pseudocódigo 2 - Limiarização

Neste trabalho a segmentação acontece em dois momentos. O primeiro na necessidade de separar a folha do fundo, o outro na necessidade de separar os danos foliares seja por alterações de cor ou perda da área.

3.2.5. Representação e descrição

O resultado da etapa anterior, a segmentação, é formado por informações em forma de pixels que irão representar o objeto de interesse. Todavia para que esta representação se realize, é necessário um reconhecimento destas características, como por exemplo, cor, textura, forma entre outras. Estas características são os descritores.

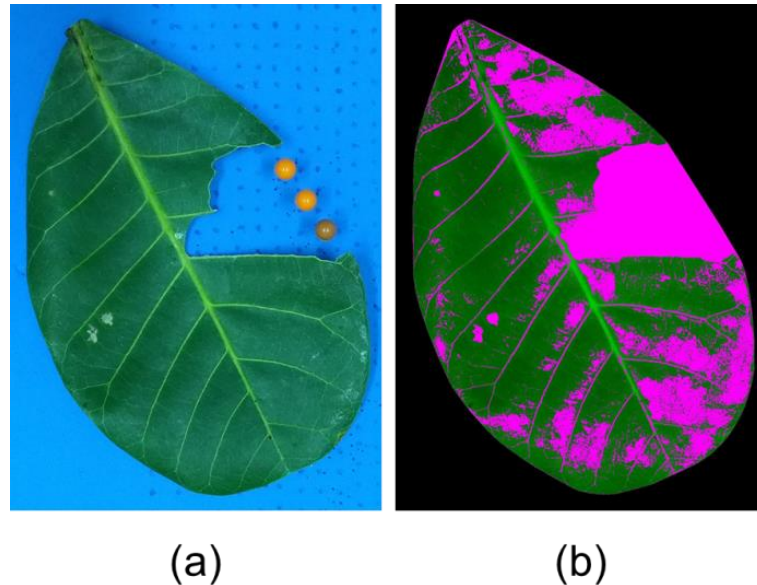


Figura 11 – Representação das áreas com danos foliares.

Neste trabalho utiliza-se o descritor de cor para distinguir no objeto (folha) as partes que a área de indicam a presença da clorofila, responsável pela fotossíntese. Percebe-se na Figura 11(a) que nas áreas onde não se encontra a tonalidade verde, estas foram submetidas a outra coloração para diferenciá-las dos objetos de interesse (Figura 11(b)).

3.2.6. Reconhecimento e interpretação

Essa é a derradeira etapa da análise, na qual os objetos que compõem a imagem são rotulados conforme suas respectivas características. Neste trabalho os danos são rotulados e agrupados para calcular a perda total da área foliar

3.3. Análise dos códigos

Nesse tópico abordar-se-ão as análises dos códigos desenvolvidos.

3.3.1. Código remover fundo

Para análise desse código de segmentação, separação da folha e fundo da imagem, foram disponibilizadas 5 amostras visualmente diferentes entre si para uma maior representativa dos possíveis casos. Para cada amostra foram feitas, por pessoas diferentes, 9 imagens (*imagem [img1...img9]*) de referência/*ground-truth*, com editores gráficos (CorelDraw®, PhotoShop® ou GIMP)¹⁰. Desta edição foram gerados 5 grupos com 9 imagens cada.

Para cada grupo foi gerada uma nova imagem, denominada imagem ideal (*imIdeal*) (Figura 12) .

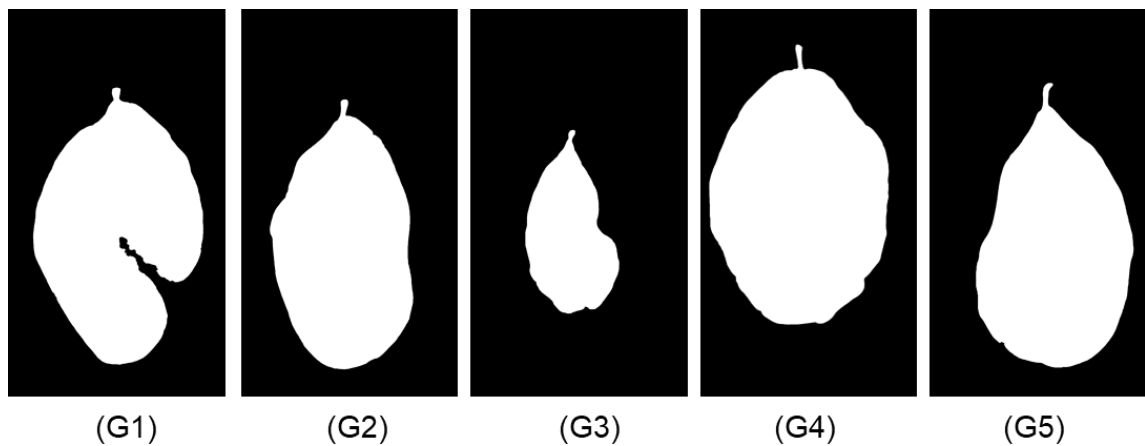


Figura 12 – Imagens de referência *ground-truth*

As imagens de referência foram geradas a partir da moda de cada pixel das imagens que formam o respectivo grupo (Pseudocódigo 3).

```

Entrada: imagem [img1...img9]
início
  Para i até dimensão1 da img1 faça
    Para j até dimensão2 da img1 faça
      x ← [img1(i,j)... img9(i,j)]
      imIdeal ← moda(x)
fim
  
```

Pseudocódigo 3 – Método *ground-truth*

Para os cálculos dos índices de *Gold Standards*¹¹, as imagens, *imIdeal* e sua equivalente (*imOriginal*), resultante do código remover fundo, foram

¹⁰ Termo que se refere as informações fornecidas pela observação empírica em oposição à informação fornecida pela inferência.

¹¹ Critérios para avaliação da evidência científica

processadas e os seus resultados comparados pixel a pixel. As métricas consideradas para os índices de *Gold Standards* foram Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Positivo (FP) e Falso Negativo (FN) (Pseudocódigo 4).

```

Entrada: imIdeal, imOriginal
vp,vn,fp,fn ← 0;
início
    Para i até dimensão1 da img1 faça
        Para j até dimensão2 da img1 faça

            se (imIdeal (i,j) = 1 & imOriginal (i,j) = 1) então vp ← vp + 1;
            senão se (imIdeal (i,j) = 0 & imOriginal (i,j) = 0) então vn ← vn + 1;
            senão se (imIdeal (i,j) = 0 & imOriginal (i,j) = 1) então fp ← fp + 1;
            senão fn ← fn + 1;
fim

```

Pseudocódigo 4 – Gold Standards

O Verdadeiro (V) se dá quando os valores dos pixels das imagens ideal (imIdeal) e equivalente (imOriginal) são iguais. Caso seja na área de interesse (folha) o resultado será Verdadeiro Positivo (VP), caso contrário (fundo), Verdadeiro Negativo (VN).

O Falso (F), por sua vez, acontece quando os valores dos pixels das imIdeal e imOriginal são diferentes. Caso seja na área de interesse (folha) o resultado será Falso Negativo (FN), caso contrário, Falso Positivo (FP).

Após os resultados do *Gold Standards* os dados são inseridos numa matriz de confusão (Figura 13). A matriz de confusão oferece uma medida efetiva acerca do modelo de classificação, ao exibir o confronto entre as classificações corretas e preditas para cada classe (CARRIJO, 2004). Neste exemplo as classes são folha e fundo.

		Observada (método)	
		1	0
Ideal (Referência)	1	VP	FN
	0	FP	VN

Figura 13 – Matriz Confusão (modelo).

Fonte: autor (2018)

Os resultados obtidos da comparação entre os pixels das imagens ideal e equivalente de cada grupo apresentadas abaixo nas tabelas 3, 4, 5, 6 e Tabela 7.

Tabela 3 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo1

Teste	Folha (pixels)	Não Folha (pixels)
Resultado Positivo	2143138	27431
Resultado Negativo	641	3821494
Totais dos Resultados	2143779	3848925

Tabela 4 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo2

Teste	Folha (pixels)	Não Folha (pixels)
Resultado Positivo	1907242	17215
Resultado Negativo	46	4068201
Totais dos Resultados	1907288	4085416

Tabela 5 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo3

Teste	Folha (pixels)	Não Folha (pixels)
Resultado Positivo	749784	9023
Resultado Negativo	407	5233490
Totais dos Resultados	750191	5242513

Tabela 6 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo4

Teste	Folha (pixels)	Não Folha (pixels)
Resultado Positivo	2487056	17991
Resultado Negativo	58	3487599
Totais dos Resultados	2487114	3505590

Tabela 7 – Matriz Confusão com os resultados obtidos do Grupo5

Teste	Folha (pixels)	Não Folha (pixels)
Resultado Positivo	2075867	21778
Resultado Negativo	10	3895049
Totais dos Resultados	2075877	3916827

A partir da matriz de confusão, o índice de Acurácia (AC) para cada grupo também foi calculado segundo AGHAJARI E DAMAYANTI (2011, apud Vale, 2014), de acordo com a expressão (1) (Tabela 8).

$$AC = ((VP + VN) / (VP + FN + VN + FP)) * 100 \quad (1)$$

Tabela 8 – Acurácia do código remoção do fundo da imagem

COMPONENTE	GRUPO	VP (%)	VN (%)	FN (%)	FP (%)	AC (%)
FOLHA	G1	99,97	99,29	0,71	0,03	99,53
	G2	100	99,58	0,00	0,42	99,71
	G3	99,95	99,83	0,05	0,17	99,84
	G4	100	99,49	0,00	0,51	99,70
	G5	100	99,44	0,00	0,56	99,64
	MÉDIA	99,98	99,53	0,15	0,34	99,68

3.3.2. Identificação de danos

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos nesta etapa do projeto, uma imagem foi enviada a um especialista para que o mesmo assinalasse os danos foliares presentes na amostra. Os danos foram assinalados utilizando ferramentas de edição gráfica. Em seguida os resultados entre as duas imagens, a amostra e a resultante da identificação de danos foram comparados (Figura 14).

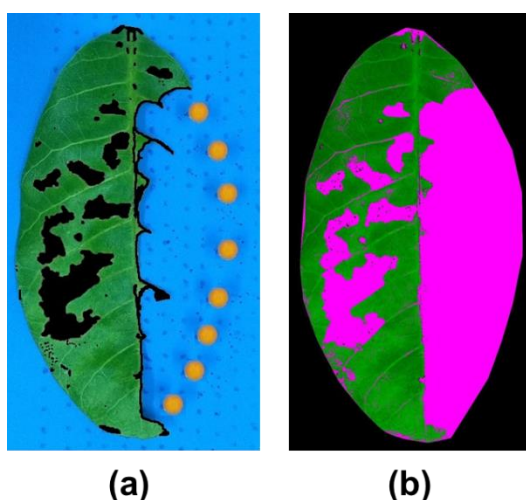


Figura 14 – Identificação dos danos foliares.

Observando a Figura 14(b), nota-se que os danos foliares assinalados de preto pelo especialista na Figura 14 (a) foram detectados e destacados na cor magenta pelo algoritmo, tanto os danos de alteração de cor quanto o da perda de área da folha.

3.3.3. Quantificação dos danos foliares

Após a detecção das áreas com os danos da folha, como demonstrado no tópico anterior, é necessário quantificá-las para que possa estimar a perda de sua capacidade fotossintética. Para isso é necessário somar todas as n áreas danificadas seguindo a expressão (2), onde **P** é a perda da área da folha e **D** representa os danos.

$$P = \sum_{i=1}^n P(D_i) \quad (2)$$

A perda (%) é, portanto $\frac{P}{A_t} \times 10$, onde A_t equivale a área total da folha.

4. PLANTARES-DIAGNOSE FOLIAR

Este capítulo apresenta o PLANTARES-Diagnose Foliar, aplicativo desenvolvido no Octave-4.2.1, de código aberto, com objetivo de auxiliar na análise foliar para medição da área fotossinteticamente ativa da folha do cajueiro, através de um grupo de imagens digitais.

O PLANTARES é capaz de analisar uma ou um grupo de imagens para calcular e quantificar os danos foliares contidos na(s) amostra(s).

Na tela do PLANTARES, identificam-se as funções do sistema (Figura 15).

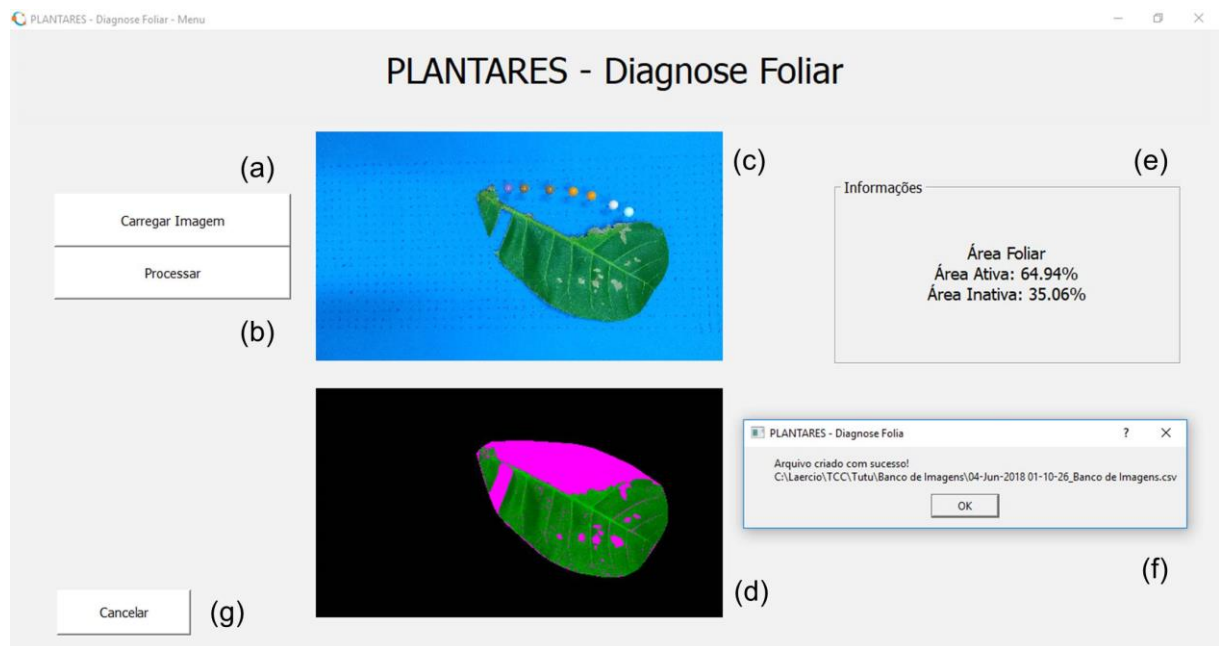


Figura 15 – Tela do PLANTARES-diagnose foliar.

- a) Botão para carregar uma ou mais imagens análise;
- b) Botão para processar análise de uma ou mais imagens;
- c) Imagem de entrada;
- d) Imagem resultante;
- e) Resultado da análise;
- f) Caixa de diálogo, informando local do salvamento do arquivo em csv;
- g) Botão para cancelar e sair do aplicativo

O aplicativo disponibiliza os resultados individuais, ou seja, folha a folha e um resultado geral, ambos num arquivo formato CSV¹², para que o especialista realize suas inferências na análise.

Na coluna 1 tem-se o nome da árvore cujas folhas foram analisadas, na coluna dois o nome da imagem respectiva à folha analisada, coluna três o resultado individual da área fotossinteticamente ativa, e na última a área com danos foliares.

Na última linha, nota-se o resultado, em percentual, das áreas totalizadas das folhas analisadas (Tabela 9).

Tabela 9 – Resultados do PLANTARES – diagnose foliar (exemplo)

Árvore	Folha	Área Ativa %	Área Com Dano %
Árvore1	Folha (1)	97,4287	2,5713
Árvore1	Folha (2)	56,5754	43,4246
Árvore1	Folha (3)	61,3402	38,6598
Árvore1	Folha (4)	72,0832	27,9168
Área Ativa Total	Área Inativa Total		
71,8569	28,1431		

¹² *Comma-Separated Values* - formato de arquivo que armazena dados tabelados, suportado por quase todas as planilhas eletrônicas e SGDB disponíveis no mercado.

5. BATE-BOLA ENTRE OS SOFTWARES

A primeira diferença elencada entre os sistemas analisados neste trabalho e o aplicativo desenvolvido é a das plataformas utilizadas, enquanto Easy Leaf Area e PLANTARES foram desenvolvidos para desktop, os demais são para dispositivos móveis. Apesar da praticidade de uso dos dispositivos *mobile*, no PLANTARES optou-se pelo desktop devido à portabilidade para uso em sistemas operacionais distintos, assim como a capacidade de processamento, que de maneira geral, é maior que os dos dispositivos móveis.

No processo de leitura das imagens, PLANTARES difere dos demais, pois é o único que contempla a possibilidade de ler um lote de imagens para análise, isto se mostra uma vantagem, pois diminui o número de interações do usuário com o aplicativo, evitando repetições de processos.

Continuando com a análise dos aplicativos apresentados neste trabalho, sob a ótica da forma de processamento das imagens, o Plantix é o único que requer conexão com a internet para envio e recebimento dos resultados.

No salvamento das análises o Plantix, Leaf Doctor e Bioleaf guardam as informações de forma distintas. O Plantix, embora não analise a perda foliar, salva o histórico das imagens com os seus resultados referentes à infestação de possíveis pragas. O Leaf Doctor, por sua vez, salva a imagem com suas respectivas informações sobre perda de área foliar, e por fim, o Bioleaf salva apenas a imagem processada sem o resultado da análise. Neste quesito, o PLANTARES salva os resultados de cada imagem processada em arquivo possibilitando pesquisas futuras, modo similar o Easy Leaf Area.

No quesito análise foliar, objetivo principal deste trabalho, o Plantix não detecta danos. Enquanto o Leaf doctor depende da marcação das partes saudáveis da folha para realizar a análise, o Easy Leaf Area, na ocasião, exibe a área foliar sem os danos, mas nenhum dos dois contempla a perda foliar na análise.

Ainda sobre análise foliar e detecção de danos, o PLANTARES, diferente dos anunciados anteriormente, contempla as duas situações, isto é, os danos e as perdas físicas da área foliar, incluindo as perdas nas extremidades através da recomposição da forma da folha, semelhança encontrada no Bioleaf. Entre os dois difere a forma de processamento e salvamento das análises, enquanto no segundo processa uma imagem por vez não salvando o resultado, o PLANTARES pode

processar uma ou mais imagem, salvando os resultados, individual e geral, assim como a imagem resultante.

Abaixo na Tabela 10 encontram-se listados os pontos detalhados desde o início deste tópico.

Tabela 10 – Comparativo entre os programas.

ITENS ANALISADOS	PLANTARES	PLANTIX	LEAF DOCTOR	BIOLEAF	EASY LEAF AREA
Ambiente Desktop	Sim	Não	Não	Não	Sim
Análise de múltiplas imagens	Sim	Não	Não	Não	Não
Saída em formato CSV	Sim	Não	Não	Não	Sim
Guarda as imagens processadas	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Deteção de danos na folha	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Deteção da perda física da folha	Sim	Não	Não	Sim	Não
Recomposição da forma da folha	Sim	Não	Não	Sim	Não
Análise requer internet	Não	Sim	Não	Não	Não

6. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para aquisição das imagens das folhas de cajueiro anão, de modo a ser possível a análise pelo sistema. O sistema desenvolvido, PLANTARES-Diagnose Foliar, identificou e em seguida, quantificou a redução da capacidade fotossintética causada pelos danos foliares, tanto por alterações de cor quanto por perda de área, do conjunto de folhas coletadas, ocorrida em maio de 2018, salvando os resultados juntamente com as imagens permitindo análises futuras.

Todavia, é imperativo ressaltar que os danos foliares tratados no PLANTARES-Diagnose Foliar são específicos do período da coleta das folhas, com isso, possivelmente outras coletas em meses distintos trariam novos problemas o que implicaria numa adequação dos códigos para contemplar outros danos, que por ora não apareceram na coleta do banco de imagem criado para desenvolvimento do sistema.

Como propostas de trabalhos futuros, contemplar um método de validação que permita resultados mais precisos no código de identificação e quantificação de danos foliares, inclusive através de aprendizado de máquina para identificação da tonalidade verde nas folhas. Outra possibilidade é a inclusão de métodos que permitam a aquisição e análise do lado abaxial da folha, e assim prever possíveis infestações parasitárias e também a possibilidade de análise de outras culturas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.H.F. et al. Viabilidade econômica da produção de caju (*Anacardium occidentale* L.) , **Nativa**, Sinop, v.5, n.1, p.9-15, jan./fev. 2017.

AMARANTE, C.V.T. do et al. Quantificação da área e do teor de clorofilas em folhas de plantas jovens de videira 'cabernet sauvignon' mediante métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 680-686, 2009.

ANDRADE, E.C.; SENGHER, L.J. Processamento digital de imagens como estimativa de teor de n foliar na cultura do milho. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 2015, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos...** Ponta Grossa: SBI Agro, 2015. Disponível em: <
http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf_resumos/17/17_elvis_canteri_de_andrade_129.pdf>. Acesso em: 6 maio 2018.

BIOLEAF. Disponível em <<https://bit.ly/2shzYfS>>. Acesso em: 27 maio 2018.

CARRIJO, I.B. **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Fruticultura**. Disponível em
<http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/10_fruticultura.pdf>. Acesso em: 2 jul 2018.

COSTA, E.D. **Desenvolvimento de aplicação computacional para detecção e contagem de ovos do aedes aegypti utilizando processamento digital de imagens e lógica fuzzy**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

COUCEIRO, G.C. et al. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS CLOROFILAS AEB NAS FOLHAS DA XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 323, 2017.

DE NAZARÉ JÚNIOR, A.C. et al. Detecção Automática da Área Foliar Danificada da Soja através de Imagens Digitais. In: **Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)**. 2009.

DE OLIVEIRA, A.U. **Os agrocombustíveis e a produção de alimentos**. Disponível em: < <https://bit.ly/2MKG7Kj> >. Acesso em 28 nov 2017.

DIETRICH, O.H.S. **ÉPOCA DE AMOSTRAGEM FOLIAR E EFEITO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS ADULTAS DE MACAÚBA**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

EASY Leaf Area. Disponível em: <<http://www.plant-image-analysis.org/software/easy-leaf-area>>. Acesso em: 27 maio 2018.

EMBRAPA. **Hortalças, Sistemas de Produção**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/berinjela/diagnose-foliar>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

FAO. **2050: um terço mais bocas para alimentar**. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/en/item/35571/icode/>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

FAO. **A fome volta a crescer no mundo, afirma novo relatório da ONU**. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1037611/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

FAO. **FAO apresenta avanços no combate às perdas e ao desperdício de alimentos**. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1062706/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

FAVARIN, J.L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

GERMINAÇÃO computadorizada. REVISTA CREA-RN, Natal, v. 1, 2015.

GHAIWAT, S. N.; ARORA, Parul. Detection and classification of plant leaf diseases using image processing techniques: a review. **International Journal of Recent Advances in Engineering & Technology**, v. 2, n. 3, p. 1-7, 2014.

IBANDOLI, R. **Mundo produz comida suficiente, mas fome ainda é uma realidade**. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/explicado/2016/09/02/Mundo-produz-comida-suficiente-mas-fome-ainda-%C3%A9-uma-realidade>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

IBGE, **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf)>. Acesso em: 28 maio 2018.

IBGE, **PAM 2016: valor da produção agrícola nacional foi 20% maior do que em 2015**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16814-pam-2016-valor-da-producao-agricola-nacional-foi-20-maior-do-que-em-2015.html>>. Acesso em: 02 jul 2018.

JESUS, G. de. **Boletim do panorama do mercado de frutas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/mercado-de-frutas-no-brasil/>>. Acesso em: 28 maio 2018.

LEAF Doctor. Disponível em: <<https://bit.ly/2IRYyLi>>. Acesso em: 27 maio 2018.

MATTOS, A.do P. **Determinação da severidade de doenças de plantas por meio de imagens digitais**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia)-Universidade de Santa Catarina – UFSC, Santa Catarina, 2017.

MARCON, M. **Modelos matemáticos para estimativa da área foliar de um cafeeiro por meio de análise de imagens**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas)–Universidade Federal de Lavras – UFLA, Minas Gerais, 2009.

PINHO, T.M.; Coelho, J.P.; Oliveira, J.B.; Boaventura-Cunha, J. Comparative analysis between LDR and HDR images for automatic fruit recognition and counting. **Journal of Sensors**, v. 2017, p. 1-12, 2017.

PLANTIX. Disponível em: <<https://bit.ly/2JddRBH>>. Acesso em: 27 maio 2018.

PIRES, R.D.L. et al. Local descriptors for soybean disease recognition. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 125, p. 48-55, 2016.

RAMOS, G.Q.; COTTA, E.A.; DA FONSECA FILHO, H.D. Análise morfológica das folhas de *Anacardium occidentale* L. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 6, n. 1, p. 16-19, 2016.

RIZZO, E. **Fome no mundo: causas e consequências**. Disponível em: <<http://www.politize.com.br/fome-no-mundo-causas-e-consequencias/> 01/06/2018>. Acesso em: 01 jun. 2018.

SANTOS, A.P. de O. **Desenvolvimento de descritores de imagens para reconhecimento de padrões de plantas invasoras (folhas largas e folhas estreitas)**. 2009. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)–Universidade de São Carlos – UFSCar, São Paulo, 2002.

SANTOS, J de O. **Coleta das folhas de cajueiro**. 2018. 1 fotografia.

SCHENATTO, K.; DE PAULA FILHO, P.L.; BAZZI, C.L. RECONHECIMENTO DE DOENÇAS EM FOLHAS DE LARANJEIRAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 5, p. 15-21, 2012.

SERRANO, L.A.L. e PESSOA, P.F.A.de P. **Aspectos econômicos da cultura do cajueiro** EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2JTdWII>>. Acesso em: 06/mar. /2018

SILVA, I. do N.P. da. **Associação entre características físicas da semente de soja com a qualidade da semente usando a análise da imagem e técnicas de aprendizado de máquina**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, K.A.M. da. **Aplicação de sistema computacional para a classificação de sementes de soja por tamanho utilizando processamento digital de imagens**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, K.A.M. da. **Aquisição de imagens**. 2018. 1 fotografia.

SINGH, V.; MISRA, A.K. Detecção de doenças foliares por meio de técnicas de segmentação de imagens e soft computing. **Processamento de Informação na Agricultura** , v. 4, n. 1, p. 41 a 49 de 2017.

VALE, A.M.P.G. **Técnica para segmentação automática de imagens microscópicas de componentes sanguíneos e classificação diferencial de leucócitos baseada em lógica fuzzy**. 2014. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2014.

VIDAL, M. de F. Situação da cajucultura nordestina após a seca. **Caderno Setorial ETENE**, Ano 1, n.4, p. 17, dezembro, 2016.