

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**UMA PLATAFORMA PARA
DETECÇÃO DE MOLHAMENTO
FOLIAR UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

Thiago Benvegnú

Passo Fundo

2017

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**UMA PLATAFORMA PARA
DETECÇÃO DE MOLHAMENTO
FOLIAR UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

Thiago Benvegnú

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Computação
Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

Orientador: Prof. Ph.D José Mauricio Cunha Fernandes

Coorientador: Prof. Dr. Willingthon Pavan

Passo Fundo

2017

CIP – Catálogo na Publicação

B478u Benvégnu, Thiago
Uma plataforma para detecção de molhamento foliar
utilizando processamento de imagens / Thiago Benvégnu. –
2017.
62 f. : Il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Maurício Cunha Fernandes.

Coorientador: Prof. Dr. Willington Páván.

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –
Universidade de Passo Fundo, 2017.

1. Água na agricultura. 2. Fitopatologia.
3. Processamento de imagens. I. Fernandes, José Maurício
Cunha, orientador. II. Páván, Willington, coorientador.
III. Título.

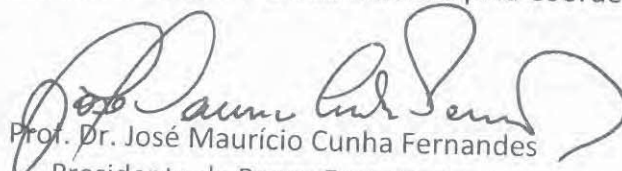
CDU: 004.932


Catálogo: Bibliotecário Luis Diego Dias de S. da Silva – CRB 10/2241


**ATA DE DEFESA DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO**

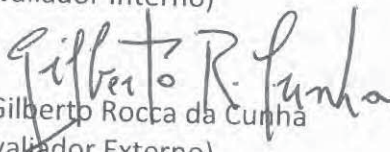
THIAGO BENVENÚ


Aos vinte e sete dias do mês de março do ano de dois mil e dezessete, às 16 horas, realizou-se, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências, prédio B5, da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso **“Detecção de molhamento foliar utilizando processamento de imagens”**, de autoria de Thiago Benvegnú, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA/UPF. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores José Maurício Cunha Fernandes, Willingthon Pavan, Rafael Rieder e Gilberto Rocca da Cunha. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.


Prof. Dr. José Maurício Cunha Fernandes
Presidente da Banca Examinadora
(Orientador)


Prof. Dr. Willingthon Pavan
(Coorientador)


Prof. Dr. Rafael Rieder
(Avaliador Interno)


Prof. Dr. Gilberto Rocca da Cunha
(Avaliador Externo)


Prof. Dr. Rafael Rieder
Coordenador do PPGCA

UMA PLATAFORMA PARA DETECÇÃO DE MOLHAMENTO FOLIAR UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE IMAGENS

RESUMO

Práticas como a previsão de doenças causadas pela ação de organismos patogênicos em plantas auxiliam agricultores e técnicos no uso de agrotóxicos de maneira racional. Muitos estudos foram realizados buscando informações relacionadas à previsão de doenças em plantas com base em dados meteorológicos. Entre estes dados está a duração de molhamento foliar, que desempenha um importante papel na previsão de doenças, especialmente para aquelas causadas por fungos. Neste trabalho é proposto um sistema capaz de detectar a duração de molhamento foliar e quantificar a presença de água sobre a superfície das folhas utilizando técnicas de processamento digital de imagens para agregar confiabilidade aos dados, além de captar informações como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e ponto de orvalho captados por meio de uma rede de sensores sem fio para ampliar a área de abrangência do sistema. Testes realizados em ambiente fechado e em campo no decorrer do trabalho, mostram que é possível utilizar o processamento de imagens para detectar o molhamento foliar, porém é necessário desenvolver algoritmos mais complexos para tornar esta tecnologia confiável ao ponto de se tornar um produto.

Palavras-Chave: molhamento foliar, doenças de plantas, sensor, processamento de imagens.

LEAF WETNESS DETECTION USING IMAGE PROCESSING

ABSTRACT

Plant disease management practices such as the forecast of infection risk by plant pathogenic organisms may help farmers and crop advisers to use pesticides in a rational manner. Many studies have been carried out involving plant disease forecast information based on meteorological variables. Leaf wetness duration is a meteorological variable that plays an important role in disease forecast, especially those caused by fungi. This work proposes a system capable of detecting leaf wetness duration and quantify the presence of water leaf surface by capturing and processing digital images. In addition, the system also have sensors measuring temperature, relative humidity and rain. Dew point temperature is derived from temperature and relative humidity. The system is based on a network of wireless sensors. Indoor and field tests performed during the work showed that it is possible to use image processing to detect leaf wetness duration, but it is necessary to develop more complex algorithms to make this technology reliable to the point of becoming a product.

Keywords: leaf wetness, plant diseases, sensor, images processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Triângulo de doenças [16].	21
Figura 2.	Sensor de molhamento foliar Campbell Scientific modelo 237 com pintura de látex [21].	24
Figura 3.	Sensor de molhamento foliar Decagon Devices [30].	24
Figura 4.	Sensor DHT22 [32].	25
Figura 5.	Abrigo para o sensores de umidade [33].	26
Figura 6.	Resposta espectral típica de um sensor CMOS [35].	27
Figura 7.	Funcionamento do filtro Bayer [36].	27
Figura 8.	Resposta do filtro IR+UV Block [37].	28
Figura 9.	Resposta do filtro IR Pass [37].	28
Figura 10.	Comparação entre uma fotografia comum e uma imagem com iluminação NIR [38].	29
Figura 11.	Reflexão da luz NIR [39].	30
Figura 12.	Histograma de posição gerado a partir de uma nuvem de pontos (adaptado) [42].	30
Figura 13.	Demonstração de correção de imagens utilizando técnicas de erosão(A) e dilatação(B) [45].	31
Figura 14.	Diagrama do sistema proposto	34
Figura 15.	Diagrama do dispositivo coletor	35
Figura 16.	Representação do encapsulamento do sensor de umidade	36
Figura 17.	Coletor de dados	37
Figura 18.	Primeiro protótipo do dispositivo central	38
Figura 19.	Imagens de folhas iluminadas simultaneamente por LED's 730, 850 e 940nm capturadas com diferentes filtros.	38
Figura 20.	Diagrama do algoritmo de processamento de imagens	40
Figura 21.	Planilha com dados coletados	41
Figura 22.	Dados de um coletor enviados ao Wunderground	42
Figura 23.	Videira infectada pelo Míldio. (A) Vista superior da folha, (B) Vista inferior da folha, (C) Fruto. [53].	44
Figura 24.	Planta afetada pelo Oídio. (A) Folha, (B) Fruto[53].	44
Figura 25.	Coletores instalados junto às folhas	46
Figura 26.	Comparação dos dados de luminosidade e temperatura coletados por diferentes dispositivos	47

Figura 27.	Pontos observados pelo olho humano versus os interpretados pelo algoritmo em teste de bancada	48
Figura 28.	Pontos interpretados pelo algoritmo versus corretamente interpretados pelo algoritmo (Primeiro teste)	49
Figura 29.	Pontos interpretados pelo algoritmo versus corretamente interpretados pelo algoritmo (Segundo teste)	50
Figura 30.	Pontos observados pelo olho humano versus os interpretados pelo algoritmo em teste de campo	51
Figura 31.	Identificação errônea do molhamento foliar	51
Figura 32.	Identificação errônea do molhamento foliar	52
Figura 33.	Imagem capturada afetada pelo ruído de fundo	52
Figura 34.	Imagem capturada com baixo contraste	53
Figura 35.	Imagem capturada com forte incidência de luz solar	53
Figura 36.	Representação 3D do dispositivo	63
Figura 37.	Esquemático do Coletor de dados	64
Figura 38.	Esquemático dos circuitos de alimentação	65
Figura 39.	Esquemático dos circuitos de iluminação artificial	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Período de molhamento requerido para infecção por diversos patógenos foliculares [7]	22
Tabela 2.	Testes com filtro de 720nm	39
Tabela 3.	Testes com filtro de 850nm	39
Tabela 4.	Testes com filtro de 950nm	39

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

DMF – Duração do molhamento foliar

e – Constante dielétrica

h – Horas

Hz – Hertz

GHz – Gigahertz

IR – Infrared ou Infravermelho

LED – Light emitter diode

LDR – Light dependent resistor

m – Minutos

mAh – Miliampere-hora

ms – Milisegundos

NIR – Near infrared

nm – Nanometros

RF – Radiofrequência

RH – Umidade relativa do ar

s – Segundos

T – Temperatura

USB – Universal Serial Bus

W – Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	OBJETIVO GERAL	20
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	DOENÇAS DE PLANTAS	21
2.1.1	Doenças causadas por Fungos	21
2.2	SENSORES	22
2.2.1	Sensores de Molhamento Foliar	23
2.2.1.1	Sensores Resistivos	23
2.2.1.2	Sensores Capacitivos	23
2.2.2	Sensores de Umidade e Temperatura	25
2.3	AQUISIÇÃO DE IMAGENS	26
2.3.1	Sensores	26
2.3.2	Filtros	27
2.3.2.1	Filtro Bayer	27
2.3.2.2	Filtro IR Block	28
2.3.2.3	IR Pass	28
2.3.3	Iluminação	29
2.4	PROCESSAMENTO DE IMAGENS	29
2.4.1	Operações baseadas em histogramas	29
2.4.2	Operações de segmentação	30
3	UM SISTEMA DE DISPOSITIVOS COLETORES DE DADOS E IMAGENS	33
3.1	INTRODUÇÃO	33
3.2	VISÃO GERAL DO SISTEMA	34
3.3	DISPOSITIVOS COLETORES DE DADOS	35
3.3.1	Componentes utilizados	35
3.3.2	Aspectos construtivos	36
3.4	DISPOSITIVO CENTRAL	37
3.4.1	Iluminação e Filtros	38

3.4.2	Processamento de imagens	39
3.4.3	Armazenamento e disponibilização de dados	41
3.5	DISCUSSÃO	41
3.6	CONCLUSÕES	42
4	TESTANDO UM SISTEMA DE SENSORIAMENTO E SEU POTENCIAL PARA A AGRICULTURA	43
4.1	INTRODUÇÃO	43
4.2	ESTRUTURA DE TESTES E METODOLOGIA	43
4.2.1	Míldio	43
4.2.2	Oídio	44
4.3	TESTES DE FUNCIONAMENTO EM CAMPO	45
4.4	TESTES DE COMUNICAÇÃO	45
4.5	TESTES E VALIDAÇÃO DOS SENSORES	46
4.6	TESTES DE DETECÇÃO DE MOLHAMENTO FOLIAR	47
4.6.1	Testes em ambiente controlado	47
4.6.2	Testes em campo	49
4.7	DISCUSSÃO	50
4.8	CONCLUSÕES	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A – Hardware do Dispositivo Coletor de Dados	63
	APÊNDICE B – Hardware conectado ao Dispositivo Coletor de Imagens	65

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é um dos grandes desafios mundiais na atualidade e o aumento da produtividade agrícola é um passo importante para a superação deste desafio [1]. Por isso, a análise e antecipação dos riscos e benefícios decorrentes das práticas de manejo impostas ao sistema agrícola tem sido demanda constante do setor do agronegócio. Um importante ramo deste setor trata da minimização do impacto dos problemas fitossanitários que também resulta na previsão do rendimento das culturas.

A previsão de doenças causadas pela ação de organismos patogênicos em plantas é um componente da epidemiologia vegetal e está sendo incorporada ao manejo das doenças. Desse modo, a avaliação e a precisão de risco visando o manejo de doenças de plantas, possui na análise matemática do progresso de doenças, um importante e respeitado papel. A previsão de doenças é usualmente feita por modelos empíricos que descrevem processos epidemiológicos [2], e podem auxiliar agricultores e técnicos, por exemplo, a determinar a necessidade e o momento mais adequado para a utilização de agrotóxicos. Neste sentido, muitos estudos para gerar informação sobre previsão de doenças em plantas com base em dados meteorológicos foram realizados[3].

Dentre os elementos micrometeorológicos que influenciam no aparecimento e na severidade de diversas doenças de plantas, um dos mais importantes é o período de permanência da água sobre as folhas das plantas, medido pela Duração de Molhamento Foliar (DMF)[4][5]. A presença de água livre por condensação na superfície das folhas, promovida pelo orvalho, chuva, irrigação ou neblina, oferece condições favoráveis para germinação e infecção do tecido foliar pelos patógenos [6]. Devido a isto, esta variável é uma das mais utilizadas em modelos de simulação aplicados em sistemas de alerta para doenças em diversas espécies de plantas[7][8][9], auxiliando os produtores no uso de agrotóxicos de maneira racional[10]. No entanto, apesar da sua importância, a DMF é uma variável difícil de ser medida, pois não depende exclusivamente das condições atmosféricas, mas também da sua interação com a estrutura, composição e fisiologia do dossel da cultura [11][12][13][14].

Outra dificuldade relacionada com a duração do molhamento foliar é alta variabilidade espacial observada em diferentes partes da planta e mesmo no entorno próximo. Uma possível alternativa para lidar com a variabilidade espacial é coletar dados relacionados à DMF em mais de um ponto.

Na existência de dados confiáveis sobre a DMF, estes quando associados a outras variáveis como temperatura e umidade relativa poderiam ser utilizados como entrada em modelos de simulação de epidemias de doenças de plantas, analisando os dados coletados e identificando a favorabilidade do surgimento e progresso de uma determinada doença[15].

Observando a importância da determinação da DMF e as dificuldades encontradas na realização da sua medição, este trabalho busca a criação de um processo de detecção da DMF sem contato com a folha da planta por meio de imagens, visando auxiliar o produtor na tomada de decisão no manejo de culturas.

O trabalho é dividido basicamente em quatro partes, uma revisão de literatura na qual foram compilados conhecimentos necessários para o desenvolvimento e utilização da plataforma de detecção de molhamento foliar. No capítulo 3 é descrito o desenvolvimento do sistema de coleta de dados e imagens, na sequência, o capítulo 4 apresenta os testes e resultados obtidos na utilização do sistema. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Aperfeiçoar o manejo integrado de doenças de plantas oferecendo uma tecnologia sensível para a detecção do período de molhamento foliar por meio da captura e o processamento de imagens.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma rede de sensores de umidade e temperatura;
- Desenvolver uma ferramenta para captura e processamento de imagens;
- Detectar a presença de água livre na superfície de folhas por meio de imagens.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DOENÇAS DE PLANTAS

Existem diversos conceitos de doença, Mark T.Windham e Alan S.Windham descrevem doença de planta como o resultado de uma relação prejudicial e dinâmica com um organismo que parasita ou afeta os processos normais de células, tecidos, ou ambos, da planta [16]. A ocorrência de doenças em plantas resulta da interação entre hospedeiro, patógeno e ambiente [17], que pode ser representada por meio da Figura 1, onde os vértices do triângulo representam os fatores que condicionam a ocorrência de doenças em plantas [18].

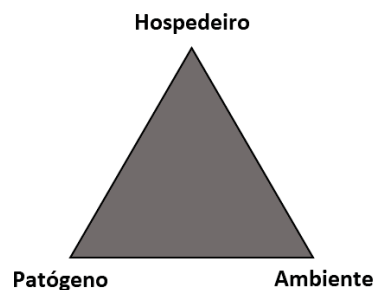


Figura 1. Triângulo de doenças [16].

Doenças de plantas afetam a economia e a produção de alimentos do mundo inteiro [19], para evitar as perdas devido às pestes utiliza-se estratégias de manejo para proteção das culturas. O sucesso da estratégia depende do conhecimento da planta, dos patógenos e das doenças que podem incidir sobre elas e do ambiente no qual se encontram [20].

2.1.1 Doenças causadas por Fungos

Cerca de 100.000 espécies de fungos já foram descritas [18]. A maioria é benéfica ou benigna e cerca de 8.000 causam doenças em plantas, entre eles estão o míldio *Plasmopara viticola* e o oídio *Uncinula necator* que se destacam pelos altos danos a cultivares de uvas brasileiros [18]. Os fungos não produzem seu próprio alimento, então precisam de outros seres vivos para se sustentarem e por isso se hospedam nas plantas ou em outros seres vivos, podendo prejudicar os mesmos. [18]

As doenças causadas pelo fungo sempre estiveram entre as principais causas de perdas no cultivo de plantas. Por isso, foram desenvolvidas várias técnicas de manejo de culturas a fim de evitá-las, tais como a rotação de culturas para controlar a propagação do fungo pelo material orgânico depositado no solo, a criação de cultivares resistentes e a aplicação de fungicidas.

Para que os fungos possam infectar a planta, é necessária a ocorrência de alguns fatores meteorológicos como a temperatura e molhamento folhar que afetam a capacidade de esporulação, colonização e infecção dos fungos [7] [21] [22] [17]. Na Tabela 1 são apresentados diversos períodos

de DMF necessários para a infecção de algumas espécies de fungos que normalmente variam entre 0,5 e 100 horas [7].

Tabela 1. Período de molhamento requerido para infecção por diversos patógenos foliares [7]

FUNGO	HOSPEDEIRO	VARIÁVEL EPIDEMIOLÓGICA	FAIXA DMF (horas)
<i>Botrytis cinerea</i>	morango (flor)	incidência da doença	6-32
<i>Botrytis squamosa</i>	cebola (folhas)	numero de lesões	6-32
<i>Colletotriehum aeutatum</i>	morango (fruto)	incidência da doença	3-40
<i>Colletotrichum coecodes</i>	tomate (fruto)	severidade	10-50
<i>Diaporhe phaseolorum</i>	soja	incidência da doença	2-140
<i>Phakopsora pachyrizi</i>	soja	número de lesões	6-12
<i>Phytophthora cactorum</i>	morango (fruto)	infecção	0.5-5
<i>Puccinia arachidis</i>	amendoim	densidade da lesão	4-40
<i>Puecinia reeondita</i>	trigo	infecção (hifas)	9-15
<i>Puccinia striiformis</i>	trigo	infecção	3-6
<i>Pyricularia grisea</i>	azevém	número de lesões	6-48
<i>Pyrenophora teres</i>	cevada	infecção	3-24
<i>Uromyees phaseoli</i>	feijão	número de pústulas	4-25

2.2 SENSORES

Segundo Chen [23] sensores geralmente são dispositivos que convertem medidas físicas ou químicas em sinais que podem ser lidos por um observador ou instrumento [24]. Para escolher o sensor mais adequado à aplicação existem algumas características importantes que devem ser levadas em conta, entre elas estão [25]:

- Extensão (*range*) - Descreve os valores mínimos e máximos de entradas e saídas tratadas pelo sensor;
- Função de transferência - É a relação entre a entrada e a saída de um sensor, pode ser linear ou não e pode ser representada por um gráfico, tabela de valores ou fórmula matemática;
- Histerese - Fenômeno apresentado por determinados sensores cujas propriedades dependem do histórico precedente da entrada;
- Resolução - É o valor do menor incremento da variável medida que cause uma mudança detectável na saída do sensor;
- Sensibilidade - Representa o quanto uma alteração na entrada interfere na variação da saída;
- Acurácia - Refere à capacidade do sensor de prover uma saída próxima ao real valor medido;
- Precisão - Descreve a capacidade de uma saída ser constantemente reproduzida. A precisão pode ser quantificada como o desvio padrão percentual;

- Erro - É a diferença entre o valor medido e o valor real;
- Resistência à interferências - A resposta do sensor pode ser influenciada por estímulos ambientais externos que não estão sendo medidos. Estas entradas podem afetar a sensibilidade, resolução e a função de transferência do sensor.

2.2.1 Sensores de Molhamento Foliar

O método mais simples e antigo de detecção de molhamento foliar é através da observação humana, porém, este método exige tempo e apresenta falhas, pois a informação obtida diz respeito apenas ao momento da observação, assim, não há como saber o momento exato em que o molhamento ocorreu [26].

Atualmente é possível utilizar sensores para detectar a ocorrência do molhamento e o período de DMF. Podem ser utilizados sensores de temperatura e umidade relativa do ar para fazer estimativas empíricas [27], ou sensores específicos que determinem o molhamento foliar de forma direta como os sensores comerciais resistivos, que têm um custo elevado no mercado nacional [28], o que dificulta sua utilização em larga escala.

2.2.1.1 Sensores Resistivos

Os sensores resistivos são os mais utilizados atualmente, entre os mais comercializados está o modelo 237 da Campbell Scientific [26] (Figura2), que consiste em uma placa de 1mm de espessura com um circuito impresso formado por dois eletrodos banhados a ouro. Normalmente o sensor é coberto com uma pintura de látex para proteger os eletrodos e simular a superfície de uma folha [29]. Este sensor é calibrado com o uso de um resistor para alterar o limiar de molhamento, assim, conforme o valor da resistência elétrica entre os eletrodos do sensor, ele será considerado seco ou molhado.

Esse é limitado, pois não há um padrão de utilização do mesmo e a correlação entre a resposta do sensor e o molhamento foliar varia de acordo com o seu posicionamento em relação à planta e as características de suas folhas, causando erros de medição [26].

2.2.1.2 Sensores Capacitivos

Aparentemente os sensores capacitivos são semelhantes aos resistivos, porém, para que detectem a presença de água não é necessário o contato direto. A pintura do sensor é feita com uma tinta isolante, por isso, as trilhas do circuito impresso não precisam ser banhadas a ouro. Estes fatores reduzem significativamente o custo de fabricação do sensor [28].

Devido à diferença significativa entre os valores das constantes dielétricas da água, gelo e ar que são aproximadamente $\epsilon=80$, $\epsilon=5$ e $\epsilon=1$, através da alteração no campo elétrico do sensor sua

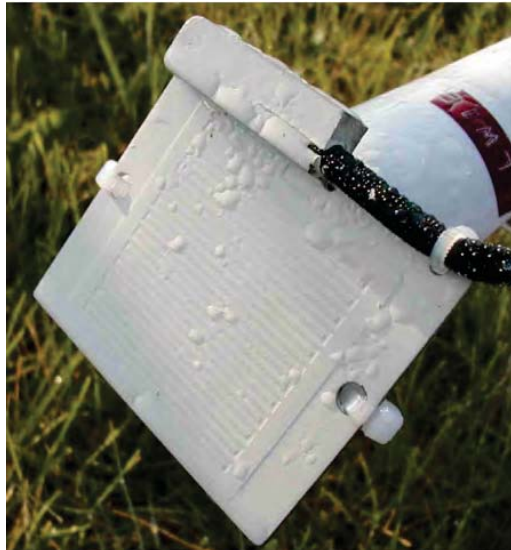


Figura 2. Sensor de molhamento foliar Campbell Scientific modelo 237 com pintura de látex [21].

capacitância é alterada, assim, é possível identificar qual destes materiais está em contato com sua superfície medindo a impedância do sensor [28] [30].

Um dos sensores capacitivos disponíveis no mercado é o Decagon sensor presente na Figura 3, projetado para que sua capacidade de aquecimento seja similar à de uma folha real, não necessita de calibração ou pinturas extras, tem uma expectativa de vida útil de dois anos, e um tempo de resposta de 10 ms [30]. É capaz de detectar a presença de água ou gelo porém não é capaz de quantificá-la [28]. Apesar do formato especial, pesquisas apontam que as características do sensor não são semelhantes a todos os tipos de folhas [26].



Figura 3. Sensor de molhamento foliar Decagon Devices [30].

2.2.2 Sensores de Umidade e Temperatura

Sensores de umidade normalmente são cerâmicos, resistivos ou capacitivos. Estes são amplamente utilizados em pesquisas e na indústria, por sua resposta ser confiável e também por possuir uma estrutura simples, barata e de fácil adaptabilidade [31]. O sensor de umidade relativa do ar DHT22 (Figura 4) fabricado pela Aosong Electronics se calibra automaticamente, pois une um sensor de umidade capacitivo e um sensor de temperatura, possibilitando ao sensor realizar uma compensação automática em sua resposta [32].



Figura 4. Sensor DHT22 [32].

O DHT22 opera com tensões entre 3 e 5 V, tem um consumo máximo de 2.5 mA quando está realizando as conversões, realiza a leitura da umidade relativa do ar entre 0% e 100% e temperaturas entre -40 e 80°C com acurácia entre $\pm 2\%$ e $\pm 5\%$, resolução de 0,1%RH e 0,1°C. A comunicação com o sensor é feita através do protocolo 1-Wire, com um tempo de resposta de aproximadamente 2 s [32].

Este sensor possui limitações, e sua aplicação requer alguns cuidados especiais para garantir o tempo de vida útil e funcionamento adequado:

- O sensor de umidade do DHT22 é prejudicado quando exposto a vapores químicos, assim, se faz necessário evitar o contato com produtos de limpeza e agrotóxicos;
- Para que seja realizada a leitura da umidade, o sensor precisa de fluxo de ar intenso, ou seja, o abrigo do sensor não pode ser completamente fechado, porém é necessário protegê-lo da chuva, pois o DHT22 não é a prova d'água;
- Devido à influência da temperatura na saída do sensor, ele deve ser instalado longe de fontes de calor como componentes eletrônicos para que apenas seja captada a temperatura do ambiente.
- A exposição à luz do sol e a altos índices de radiação ultravioleta reduz a vida útil e prejudica o desempenho do sensor.

Para evitar que o sensor tenha contato com a luz e a água, o local de abrigo deve ser construído de forma que o contato com o ar não seja direto e que a luz do sol não incida sobre o sensor. Uma técnica bastante utilizada, é montar o abrigo com várias peças que protejam a área superior e lateral afastadas umas das outras fazendo com que o fluxo de ar ocorra apenas de baixo para cima como mostra a Figura 5 [33],



Figura 5. Abrigo para os sensores de umidade [33].

2.3 AQUISIÇÃO DE IMAGENS

A aquisição de imagens digitais é realizada em uma série de etapas, passando por lentes, filtros, sensores, processamento digital e por fim o armazenamento [34]. O processo de aquisição pode ser alterado, modificando características das imagens e possibilitando diferentes abordagens no processamento digital.

2.3.1 Sensores

Câmeras digitais dependem de sensores que tem função semelhante ao filme de uma câmera analógica: captar a luz incidente para transformá-la em imagem. Os sensores são basicamente um agrupamento de diversos fotodiodos que convertem a luz incidente em corrente elétrica, com a informação da intensidade de luz proveniente de cada fotodiodo é possível compor uma imagem.

A sensibilidade do sensor varia de acordo com a o comprimento de onda da luz incidente. Os sensores *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* CMOS são amplamente utilizados atualmente captam imagens em uma faixa espectral típica de 200 a 1100nm, a Figura 6 apresenta a resposta espectral de um sensor CMOS.

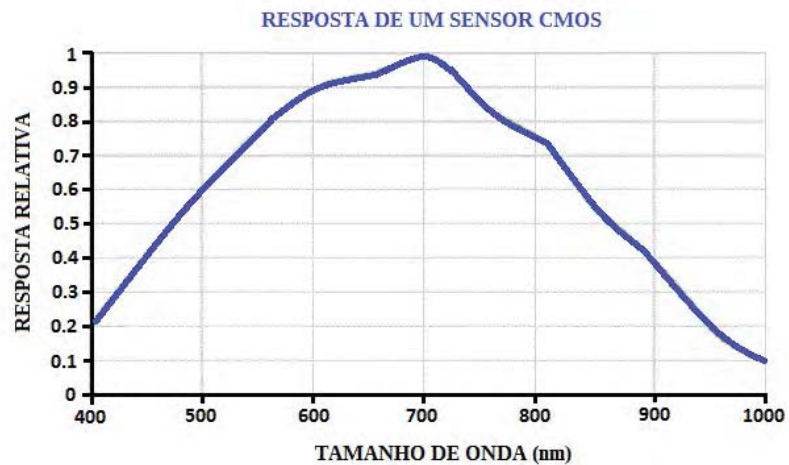


Figura 6. Resposta espectral típica de um sensor CMOS [35].

2.3.2 Filtros

2.3.2.1 Filtro Bayer

Para que a imagem formada possa ser semelhante a uma imagem observada pelo olho humano é necessária a utilização de filtros, pois os sensores não fazem distinção de cores. O filtro Bayer é utilizado para esta finalidade, ele basicamente define uma cor para cada pixel como uma espécie de mosaico, formando assim uma imagem colorida composta de pixels verdes, vermelhos e azuis. A Figura 5 apresenta um diagrama que auxilia na compreensão do funcionamento do filtro.

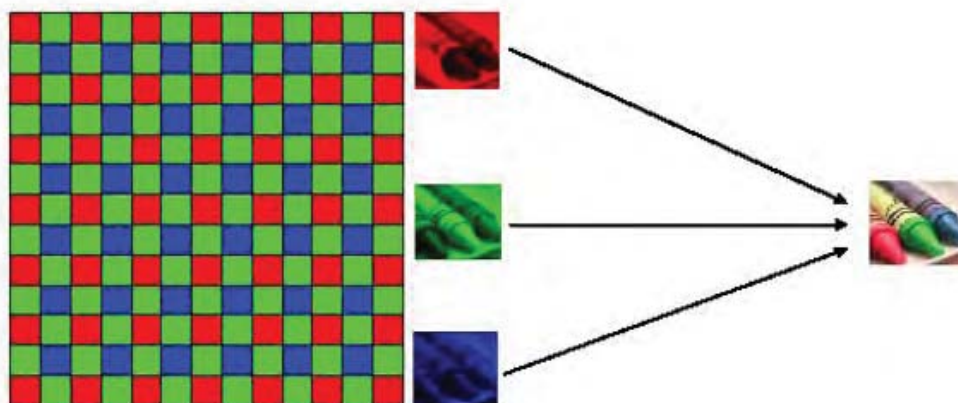


Figura 7. Funcionamento do filtro Bayer [36].

2.3.2.2 Filtro IR Block

É utilizado em câmeras convencionais para bloquear a luz *Infra-red* (IR), pois o olho humano não é capaz de captar ondas nesta frequência. Câmeras de visão noturna normalmente utilizam luz IR, por isso, estas câmeras não são equipadas com este filtro. A Figura 8 apresenta a resposta espectral de um filtro IR

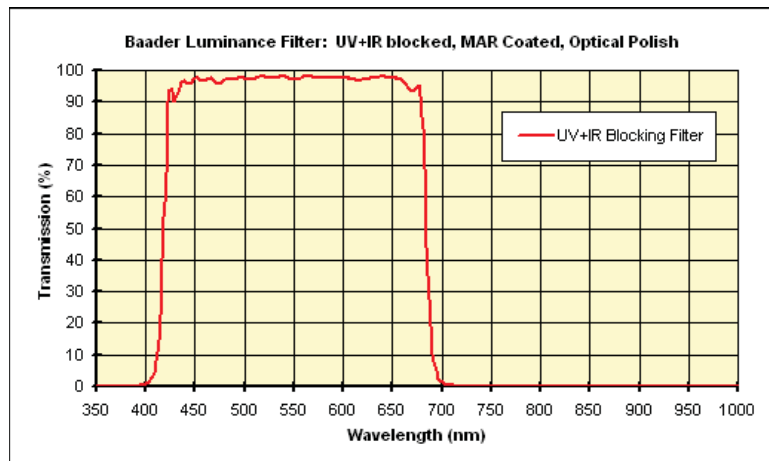


Figura 8. Resposta do filtro IR+UV Block [37].

2.3.2.3 IR Pass

Este filtro, ao contrário do IR Block, permite apenas a passagem da luz IR, tendo como resultado uma imagem que descarta qualquer luminosidade que possa ser captada naturalmente pelo olho humano. A resposta espectral do filtro pode ser vista na Figura 9

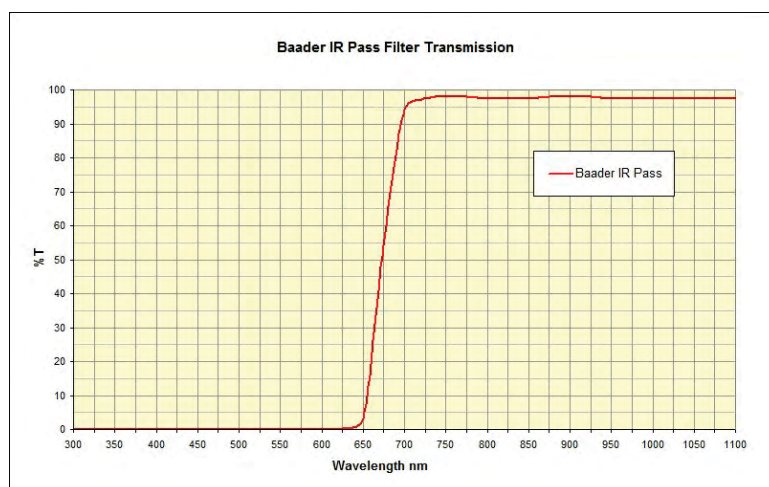


Figura 9. Resposta do filtro IR Pass [37].

2.3.3 Iluminação

A iluminação do ambiente fotografado é um fator decisivo para a obtenção de bons resultados, por isso, é importante estudar bem o posicionamento da câmera e a utilização de luz artificial para uma boa captura de imagens. A luz infravermelha não é visível ao olho humano, porém, apresenta características interessantes, e muito utilizadas para sensoriamento, análises e medidas. O espectro infravermelho pode ser classificado como *Near Infrared* (NIR), *Mid infrared* ou *Far infrared*. Segundo a ISO 20473, é compreendida como NIR a faixa do espectro luminoso entre 780 e 3000nm, e estas ondas eletromagnéticas tem um comportamento interessante em relação a vegetação, como mostra a Figura 10.



Figura 10. Comparação entre uma fotografia comum e uma imagem com iluminação NIR [38].

As folhas refletem grande parte da luz NIR incidente, destacando as folhas de outros objetos presentes em uma imagem. Outra informação importante presente na Figura 11, é que nesta faixa do espectro a água tem sua refletividade drasticamente reduzida, facilitando a distinção entre água e folha.

2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

As técnicas de processamento de imagens têm evoluído em acurácia, e sua utilização também cresce em ritmo acelerado em diversas áreas do conhecimento [40]. Existem algumas operações fundamentais no processamento de imagens, as quais são citadas nas próximas subseções.

2.4.1 Operações baseadas em histogramas

Um histograma é a representação gráfica de um conjunto de dados onde o eixo X é composto pelas diferentes classes do conjunto de dados e o eixo Y indica a quantidade ou frequência com que os valores das classes ocorreram. A partir da análise de histogramas de imagens é possível aplicar equalizações e filtros em diversos parâmetros, tais como contraste, brilho e cores [41] [42]. A Figura 12 exemplifica a aplicação de um histograma.

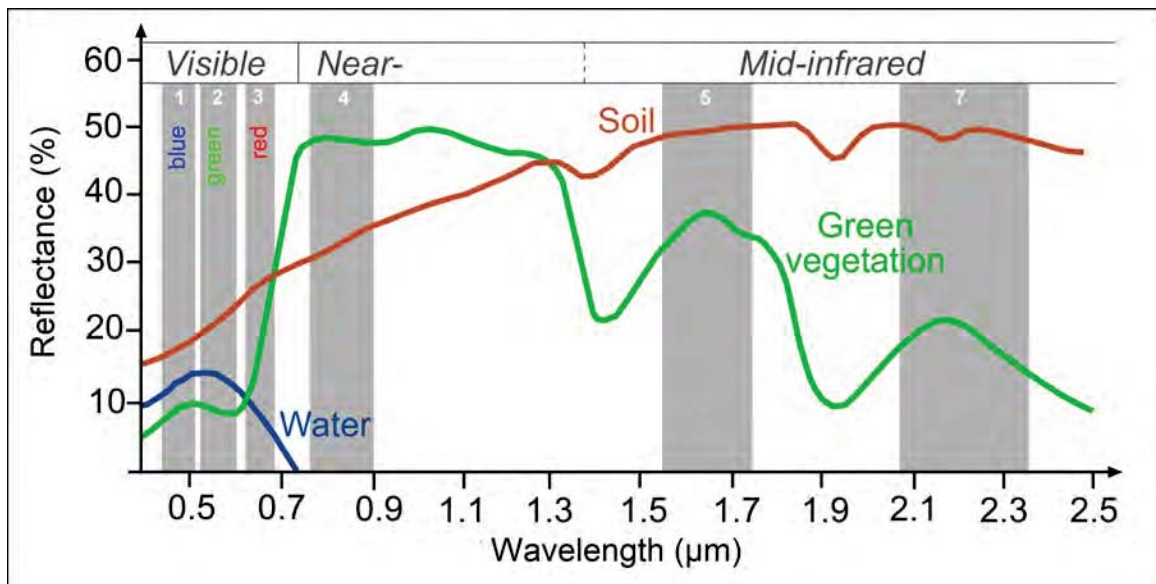


Figura 11. Reflexão da luz NIR [39].

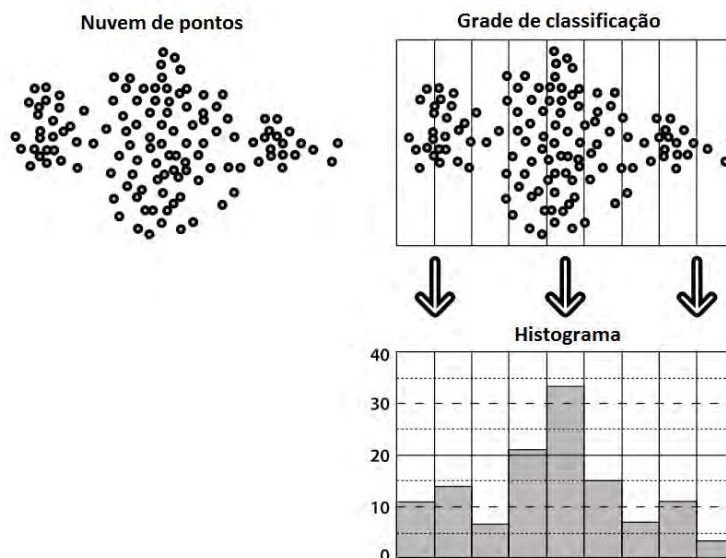


Figura 12. Histograma de posição gerado a partir de uma nuvem de pontos (adaptado) [42].

2.4.2 Operações de segmentação

Operações de segmentação normalmente são a primeira etapa do processamento [43], e são amplamente utilizadas no processamento de imagens. A segmentação consiste em dividir uma imagem em diferentes partes baseando-se em suas características físicas, permitindo tratar apenas as regiões de interesse da imagem [44]. A morfologia e a cor são características que permitem segmentar a imagem.

A segmentação baseada em morfologia consiste em observar uma imagem com o ponto de vista de que ela seja um mapa de coordenadas contínuas ou discretas, onde os conjuntos deste mapa correspondem aos pontos ou pixels que pertencem a determinados objetos na imagem. As principais operações neste domínio são a erosão e a dilatação, que consistem respectivamente em reduzir ou

expandir os conjuntos de pixels comparando-os com os pixels em sua vizinhança como apresenta a Figura 13. [41] [45].

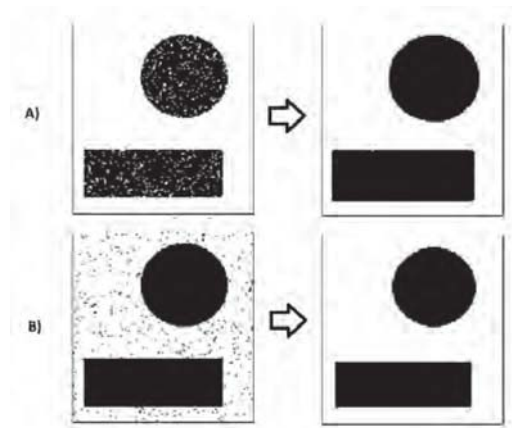


Figura 13. Demonstração de correção de imagens utilizando técnicas de erosão(A) e dilatação(B) [45].

Na segmentação baseada em cores, dois modelos bastante utilizados são o RGB (*Red Green Blue*), que utiliza três dimensões de cores primárias (Vermelho, verde e azul) e o HSI (*Hue Saturation Intensity*), que utiliza conceitos de tonalidade, saturação e luminância [44]. Uma das técnicas mais utilizadas para a segmentação de cores é a limiarização, que consiste em definir valores de limites a fim de filtrar a cor de interesse cujos valores estejam dentro ou fora da faixa definida.

3. UM SISTEMA DE DISPOSITIVOS COLETORES DE DADOS E IMAGENS

3.1 INTRODUÇÃO

Desde os anos 70 [46] foram desenvolvidas diversas tecnologias na tentativa de monitorar a DMF em diferentes culturas[17], e apesar de os resultados se mostrarem positivos, ainda há barreiras a serem superadas para ampliar a utilização deste artifício. Partindo do princípio, que um dos métodos mais utilizados e confiáveis para a determinação da DMF é a observação humana, é possível considerar que o processamento de imagens, por ser um método que concede "visão"à máquina, seja uma possibilidade interessante a ser explorada. Entre os diversos dispositivos existentes no mercado, é possível destacar os sensores eletrônicos, que são amplamente citados em pesquisas e utilizados comercialmente, eles simulam a folha e são capazes de detectar a presença de água em sua superfície podendo ser resistivos [29] ou capacitivos [30] [28]. A implementação de sensores de umidade e temperatura, que possibilitam estimar o molhamento foliar através de modelos empíricos apresenta-se atualmente como uma das maneiras mais viáveis para a determinação da DMF [17] [47] [48].

Pesquisas também apresentam que estas tecnologias são suscetíveis a variações de acordo com o tipo de planta analisado e as condições climáticas do local em que estão instalados[49][27]. Os sensores de molhamento exigem cuidados com fatores como ângulo de instalação, posicionamento e diferença das características termodinâmicas entre as superfícies do sensor e da folha, enquanto os modelos empíricos necessitam de calibração e ajustes nos limiares de parâmetros de interesse de acordo com as características do local de análise e a espécie de planta monitorada.

A utilização do processamento de imagens apresenta algumas vantagens em relação aos dispositivos citados acima, como por exemplo, a possibilidade de detectar e quantificar a presença de água diretamente na folha da planta, além de armazenar as imagens captadas, possibilitando uma análise posterior, o que é de grande valia em pesquisas e testes.

Devido aos constantes avanços dos dispositivos eletrônicos, é possível captar imagens de qualidade e realizar seu processamento remotamente. Dispositivos com preços acessíveis podem identificar, por exemplo, fenômenos que ocorrem em diversas partes da planta sem a necessidade de contato físico e oferecer resultados confiáveis com base nos dados gerados. Além disso, outros fenômenos podem ser estudados ou monitorados a partir de imagens e dados armazenados utilizando a mesma plataforma.

Neste capítulo são descritas as etapas do desenvolvido de um sistema de dispositivos coletores de dados e imagens, formado por uma rede de sensores que se comunicam por radiofrequência e enviam os dados para uma central responsável pela coleta, processamento de imagens e envio dos dados para um *website*.

3.2 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O dispositivo central é responsável pelo controle de todo o sistema desde a recepção, armazenamento e compartilhamento de informações de uma rede de sensores até o controle da iluminação, câmera e processamento de imagens.

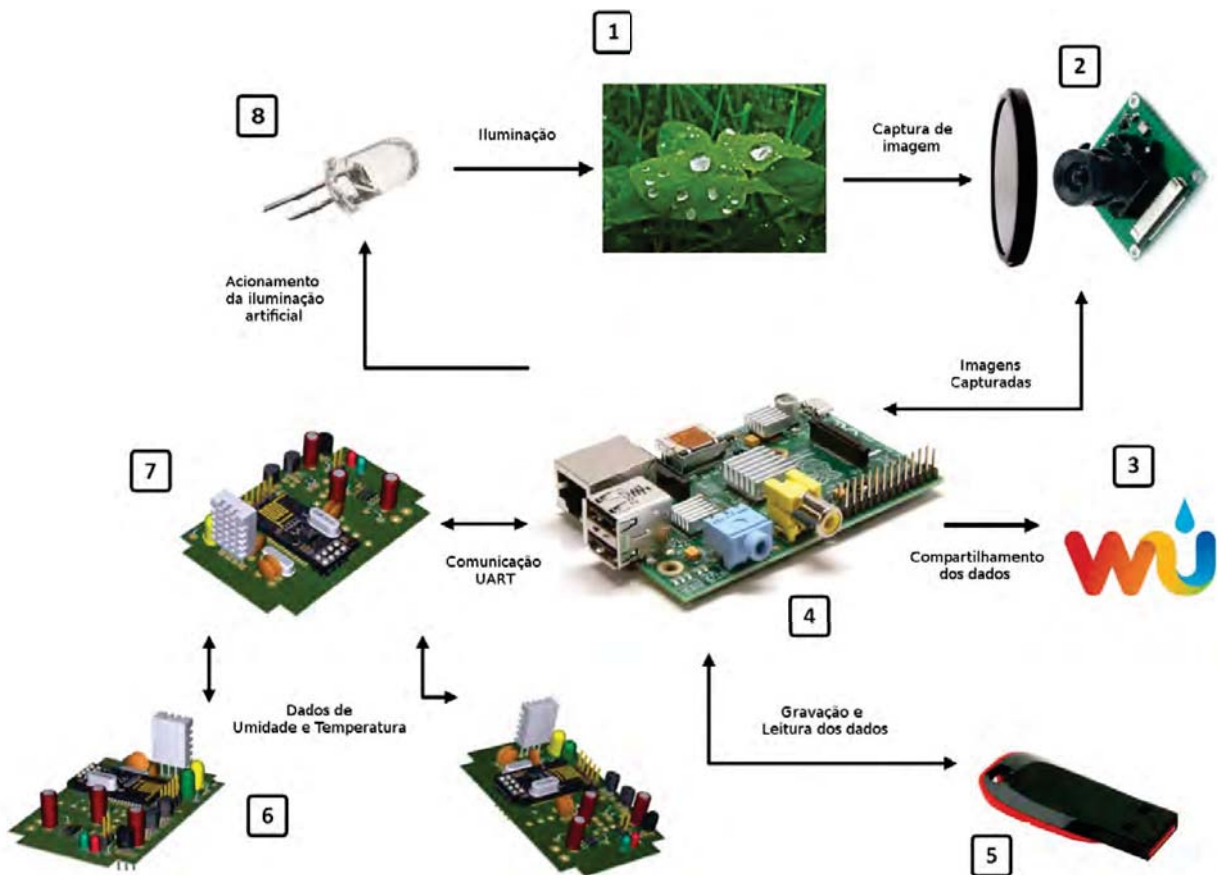


Figura 14. Diagrama do sistema proposto

Os dispositivos das redes se mantêm em modo de economia de energia (*sleep*), a cada 5m eles enviam os dados para a central e voltam ao modo *sleep*. O intervalo de amostragem utilizado em poderia ser 1h, pois a DMF necessária para o desenvolvimento do fungo é medida em horas, porém, o intervalo foi reduzido a 5m para que sejam obtidas mais informações no teste dos sensores.

Ao receber os dados, a central organiza as informações dos sensores, as compartilha por meio de um *website* e também as escreve em uma planilha que fica armazenada em um dispositivo USB. Também à cada cinco minutos, o dispositivo aciona a iluminação artificial e ativa a câmera para realizar a captura da imagem que passa por um processamento digital para detecção de água acumulada na superfície da folha e é armazenada junto aos dados coletados para as informações possam ser analisadas posteriormente. A Figura 14, apresenta um diagrama do funcionamento do sistema proposto.

3.3 DISPOSITIVOS COLETORES DE DADOS

Para auxiliar na coleta de dados e aumentar a área de abrangência do sistema, foram desenvolvidos dispositivos eletrônicos equipados com sensores de umidade, temperatura e luminosidade. Os dispositivos cujo o esquemático e a representação 3D do circuito projetado estão no apêndice A, são alimentados por baterias conectadas a painéis fotovoltaicos e se comunicam por radiofrequência. A Figura 15 apresenta um diagrama que descreve os principais elementos que compõem o dispositivo.

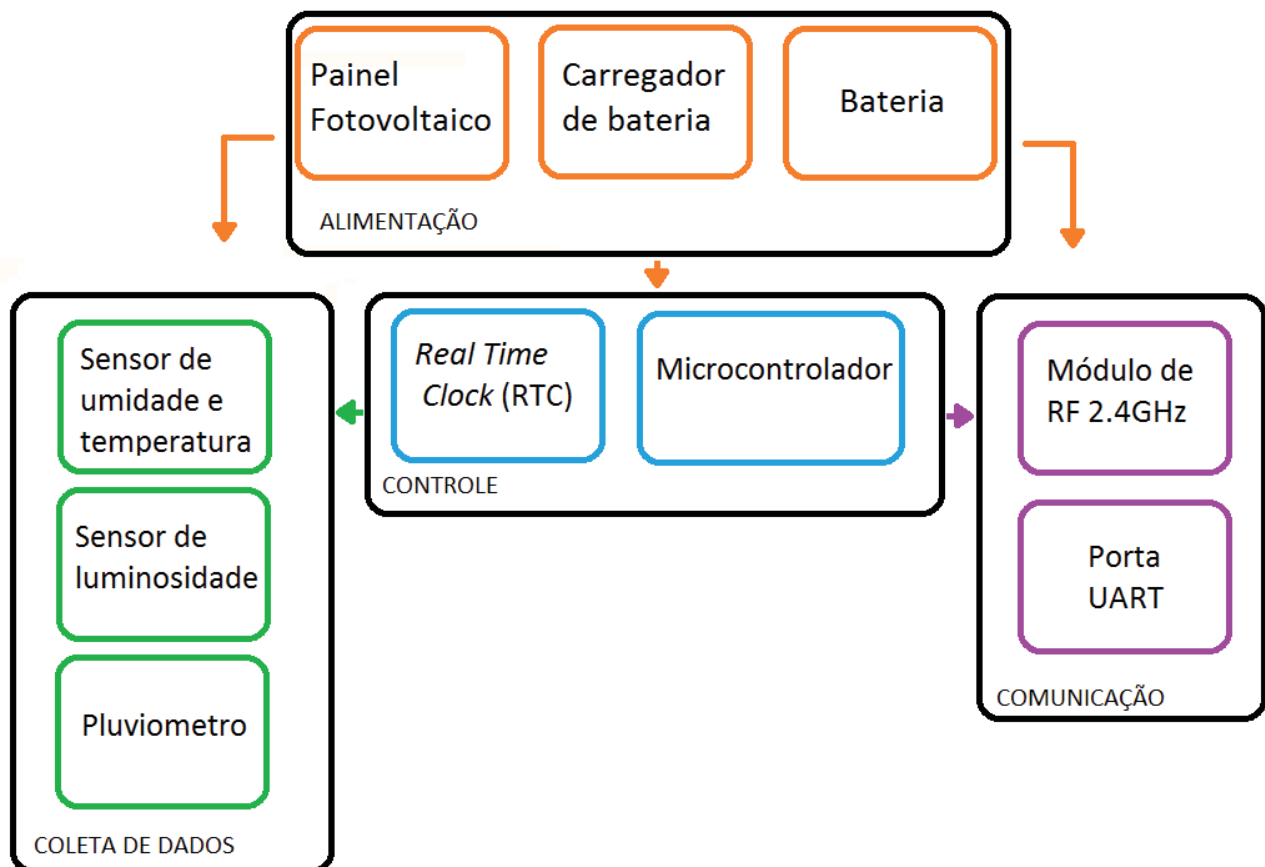


Figura 15. Diagrama do dispositivo coletor

3.3.1 Componentes utilizados

Cada coletor da rede conta com um sensor de temperatura e umidade relativa DHT22 que permite captar temperaturas entre -40 e $+80$ °C, e umidade relativa do ar entre 0 e 100% abrangendo os valores de interesse para a aplicação proposta. Também foi incorporado ao hardware um LDR (*Light Dependent Resistor*), com o objetivo principal de diferenciar quando o dispositivo está em uma área de sombra, o que pode causar uma diferença acentuada em relação aos dados obtidos nos demais coletores. Os dispositivos também estão preparados para fazer a leitura de pluviômetros digitais

agregando mais uma funcionalidade ao sistema e possibilitando ao sistema saber se o molhamento ocorre devido à precipitação ou ao orvalho.

A utilização de um RTC (*Real Time Clock*) permitiu aos dispositivos um controle preciso do momento da coleta de dados, bem como a sincronização dos coletores presentes na rede. O DS3231 foi o circuito integrado selecionado para desempenhar esta função por ter alta precisão devido ao seu oscilador interno e compensação da variação do *clock* reduzindo os erros causados pela variação de temperatura.

Para realizar a transmissão dos dados foi utilizado o módulo de comunicação sem fio NRF24I01, que opera na frequência de 2,4 GHz. A rede de sensores sem fio foi implementada com topologia em estrela, sendo utilizado um nodo coordenador instalado junto ao dispositivo central. Este nodo tem a função de receber informações dos demais nodos da rede e transmitir os dados para a Raspberry Pi por meio de um canal UART.

3.3.2 Aspectos construtivos

Devido ao ambiente agressivo em que podem ser instalados os coletores, é necessário bastante cuidado na montagem e encapsulamento do circuito eletrônico. Neste trabalho foram utilizadas caixas com grau de proteção IP65 contra poeira e jatos de água, para a passagem dos cabos foram utilizados prensa cabos IP67 que fazem a vedação dos cabos por meio de uma borracha.

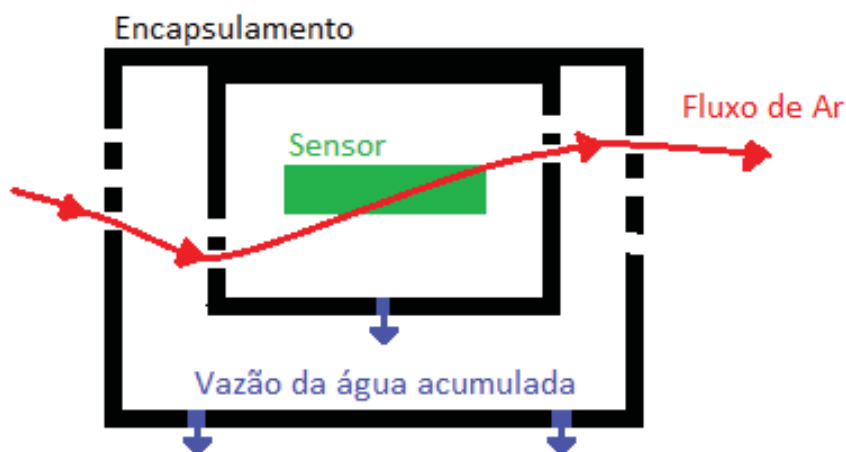


Figura 16. Representação do encapsulamento do sensor de umidade

Para encapsular o sensor de umidade e temperatura de forma simples e de baixo custo, ao invés de um encapsulamento tradicional (Figura 5), foram utilizadas duas caixas plásticas posicionadas e furadas de forma que seja permitida a passagem do ar mas não o molhamento do sensor como mostra a Figura 16. Uma questão pertinente é a necessidade da incidência de luz no LDR e da visualização dos LED's indicadores. Para solucionar esta questão foi utilizada uma caixa com tampa transparente, como mostra a Figura 17



Figura 17. Coletor de dados

3.4 DISPOSITIVO CENTRAL

O dispositivo responsável pelo controle do sistema foi implementado com o uso da plataforma Raspberry Pi B. Este dispositivo foi escolhido devido ao tamanho reduzido, baixo custo, consumo de energia razoável (até 3,5W), por possuir um barramento CSI (*Câmera Serial Interface*), e por possuir uma GPU com suporte para codificação e decodificação de imagens 1080p. Outras características relevantes:

- Processador ARM1176JZF-S com *clock* de 700MHz e possibilidade *overclock* para 1GHz.
- Slot para cartão de memória SD.
- 256Mb de memória RAM.
- 2 Portas USB.

Para a captura de imagens foi utilizada uma câmera de visão noturna de 5Mp com resolução de 1080p, e zoom ajustável equipada com o sensor Omnivision 5647. Para facilitar o processamento de imagens na detecção do molhamento foliar foi utilizada uma lente *IR Pass* junto a um conjunto de LED's infravermelhos.

Os componentes que integram o dispositivo central, incluindo os circuitos auxiliares (Apêndice B), foram fixados dentro de uma única caixa com proteção IP65 e tampa transparente, junto a um coletor de dados responsável pela integração entre a Raspberry Pi e a rede de sensores. No apêndice B são apresentados os esquemáticos dos dispositivos auxiliares utilizados. A Figura 18 mostra o dispositivo instalado em uma videira.

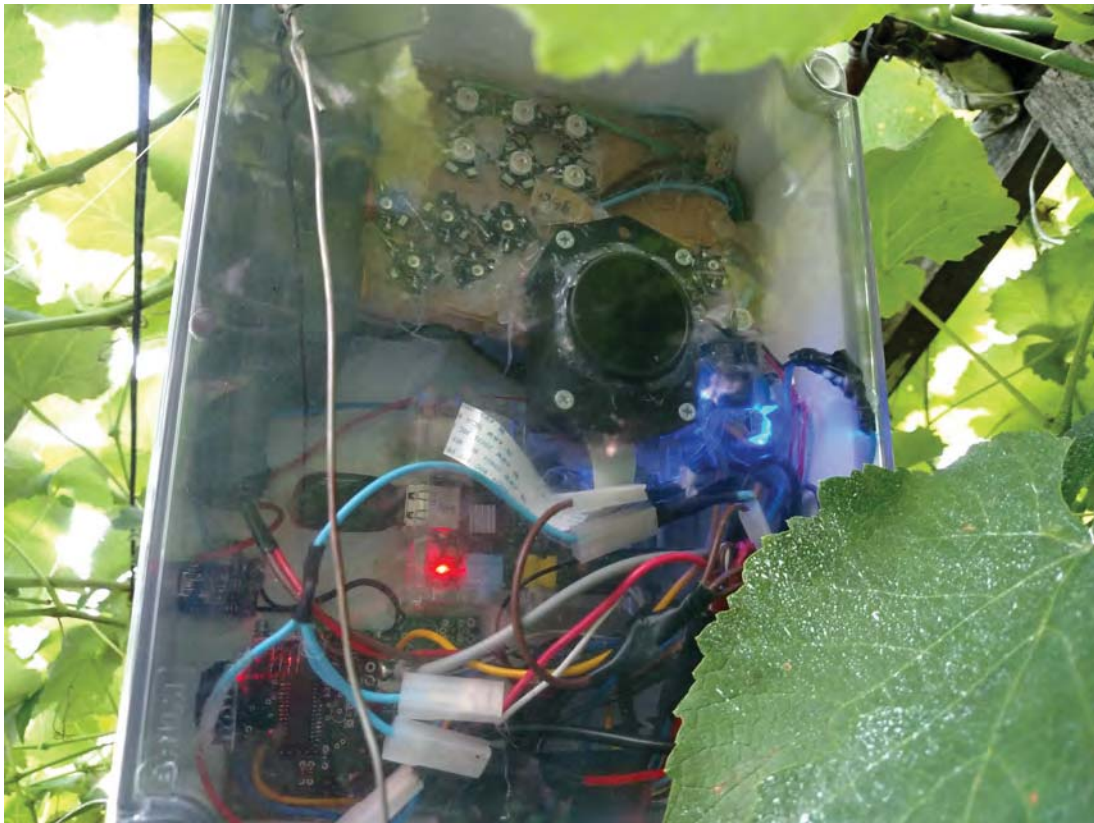


Figura 18. Primeiro protótipo do dispositivo central

3.4.1 Iluminação e Filtros

Durante o desenvolvimento do trabalho foram realizados testes de iluminação com LED's IR de diferentes comprimentos de onda: (730, 850 e 940nm), e diferentes filtros *IR pass* de (720, 850 e 950nm). Para encontrar a combinação de LED/Filtro mais adequada, foram coletadas imagens de uma folha com a superfície molhada (Figura 19) utilizando todas as combinações possíveis.

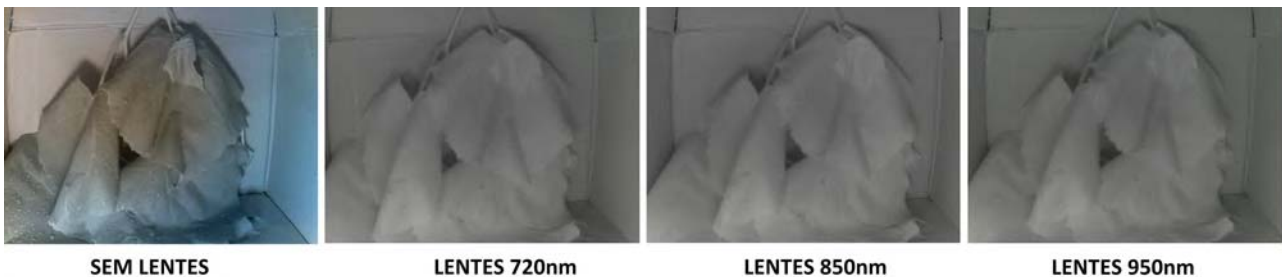


Figura 19. Imagens de folhas iluminadas simultaneamente por LED's 730, 850 e 940nm capturadas com diferentes filtros.

As imagens foram submetidas à primeira versão do algoritmo utilizado para detecção de molhamento folhar. Os critérios utilizados para a seleção baseiam-se nos seguintes fatores:

- Quantidade de pontos com água acumulada detectados;
- Quantidade de falsos positivos;

- Influência sofrida por fatores externos.

Tabela 2. Testes com filtro de 720nm

Filtro de 720nm							
LED's (nm)	730+850+940	730+940	850+940	730+850	940	850	730
Média de Pontos Detectados	54,67	18,67	8	0,33	0,67	0	0
Média de FalsosPositivos	106	10,33	7,67	1	1,33	0	0
Detectados/Falsos	0,52	1,81	1,04	0,33	0,5	0	0

Tabela 3. Testes com filtro de 850nm

Filtro de 850nm							
LED's (nm)	730+850+940	730+940	850+940	730+850	940	850	730
Média de Pontos Detectados	38,33	6,67	18,67	11,67	4	19,33	0
Média de FalsosPositivos	23,67	9,67	14,67	14,33	6,33	11,67	0
Detectados/Falsos	1,62	0,69	1,27	0,81	0,63	1,66	0

Tabela 4. Testes com filtro de 950nm

Filtro de 950nm							
LED's (nm)	730+850+940	730+940	850+940	730+850	940	850	730
Média de Pontos Detectados	14	5	2,67	22,33	6.67	26.67	0
Média de FalsosPositivos	11,33	9.33	4.33	14.33	4.67	16.33	0
Detectados/Falsos	1,24	0.54	0.62	1,56	1.43	1.63	0

As Tabelas 2,3 e 4 carregam as informações obtidas nos testes. O fator avaliado na seleção da combinação de componentes mais adequada é a relação entre pontos de interesse detectados e pontos de falso positivo. Esta abordagem prioriza a confiabilidade na distinção entre folhas secas e molhadas ao invés da quantização do molhamento.

Os valores obtidos nas melhores combinações dos diferentes filtros não apresentaram grandes diferenças, portanto, considerando a instalação do equipamento no campo o filtro de 950nm proporciona vantagem em relação aos demais, por de ser menos afetado pela luminosidade e ruídos externos. Ao fim dos testes, foram selecionados o LED de 850nm e o filtro de 950nm para serem instalados junto ao dispositivo central.

3.4.2 Processamento de imagens

O processamento de imagens foi realizado utilizando a OpenCV (*Open Source Vision Library*), uma biblioteca código fonte aberto que possui um conjunto de funções e recursos que auxiliam no desenvolvimento de softwares de visão computacional. Nesta biblioteca está incluído um conjunto de algoritmos otimizados, que podem ser utilizados em aplicações de detecção e reconhecimento de objetos e manipulação de imagens [50]. O algoritmo desenvolvido foi escrito na linguagem Python devido à fácil integração com a Raspberry Pi e a biblioteca OpenCV.

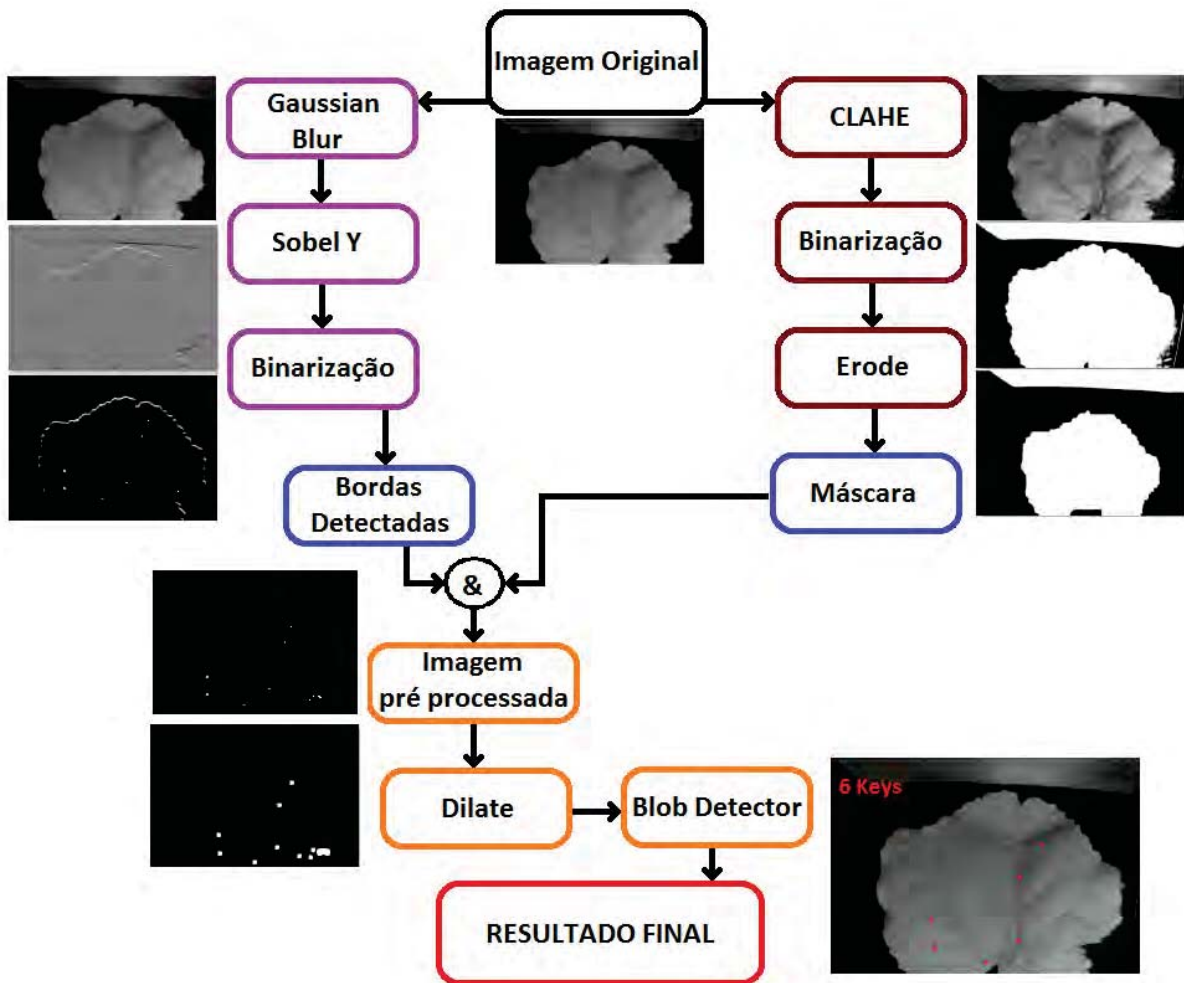


Figura 20. Diagrama do algoritmo de processamento de imagens

Para a detecção do molhamento foram combinadas diversas técnicas de processamento de imagens separadas em diferentes etapas descritas no diagrama da Figura 22. A partir da imagem original são formados dois segmentos, o primeiro busca os pontos de destaque por meio da detecção de bordas e o segundo busca detectar a folha para criar uma máscara na área de interesse.

O primeiro segmento inicia com um filtro gaussiano para a redução de ruídos que prepara a imagem para a aplicação de um filtro Sobel-Y visando a detecção de bordas de acordo com variação da luminosidade no sentido vertical. Por fim, a imagem filtrada é binarizada destacando os pontos de maior luminosidade. No decorrer do segundo segmento, é aplicado sobre a imagem um algoritmo de equalização de histograma adaptativo para a ampliação do contraste, intensificando a diferença de luminosidade entre a folha e fundo da imagem. Após a binarização da imagem, a área de interesse é erodida para que a máscara não contemple as bordas da folha, mas apenas as bordas da água acumulada.

Por fim, o resultado da união entre a máscara e as bordas detectadas, é uma imagem contendo diversos pontos que representam pontos de acúmulo de água e ramificações da folha. Para

selecionar apenas as gotas de água os pontos são selecionados com base na circularidade e na área dos objetos calculada pelo número de pixels que o formam.

3.4.3 Armazenamento e disponibilização de dados

Para complementar e agregar confiabilidade ao sistema, o dispositivo central também trata os dados enviados pelos coletores conectados à rede de radiofrequência. Os dados são recebidos em intervalos de cinco minutos e o ponto de orvalho é calculado de acordo com a fórmula [51]:

$$Po = T - ((100 - RH)/5)$$

- Po = Ponto de orvalho em °C;
- T = Temperatura em °C;
- RH = Umidade relativa do ar.

Todas as informações obtidas são armazenados em planilhas que ficam gravadas em um dispositivo USB juntamente com as imagens coletadas. Parte de uma planilha é apresentada na Figura 21, contendo informações de umidade relativa do ar, temperatura, luminosidade data e hora da captura.

	A	B	C	D	E	F
1	DATA/HORA	TEMPERATURA °F	UMIDADE	LUMINOSIDADE	PONTO DE ORVALHO °C	PONTO DE ORVALHO °F
2	2016-11-18 22:27:20	59	57,7	36	6,54	43,772
3	2016-11-18 22:36:19	58,28	59,3	40	6,46	43,628
4	2016-11-18 22:45:19	57,74	60,5	41	6,4	43,52
5	2016-11-18 22:54:19	57,38	61,5	41	6,4	43,52
6	2016-11-18 23:03:19	57,02	62,8	41	6,46	43,628
7	2016-11-18 23:12:26	56,66	64,1	41	6,52	43,736
8	2016-11-18 23:21:20	56,12	65,4	41	6,48	43,664
9	2016-11-18 23:30:20	56,12	65,2	41	6,44	43,592
10	2016-11-18 23:39:20	55,94	65,4	41	6,38	43,484
11	2016-11-18 23:48:19	55,76	66,5	41	6,5	43,7
12	2016-11-18 23:57:19	55,58	67,5	41	6,6	43,88

Figura 21. Planilha com dados coletados

Quando há disponibilidade de conexão com a internet via Wifi 2.4GHz, a central envia as mesmas informações armazenadas para a página do *wunderground*[52], um *website* que recebe dados provenientes de estações meteorológicas de diversas localidades, estes dados são disponibilizados para qualquer usuário que deseje acessá-los. A Figura 22 mostra os dados enviados por um dos coletores instalados.

3.5 DISCUSSÃO

Os componentes eletrônicos necessários para esta prática vem se tornando cada vez mais acessíveis. Um simples sensor de molhamento foliar pode ter um custo mais elevado que um sistema completo de coleta e processamento de imagens, e com estas imagens é possível monitorar não

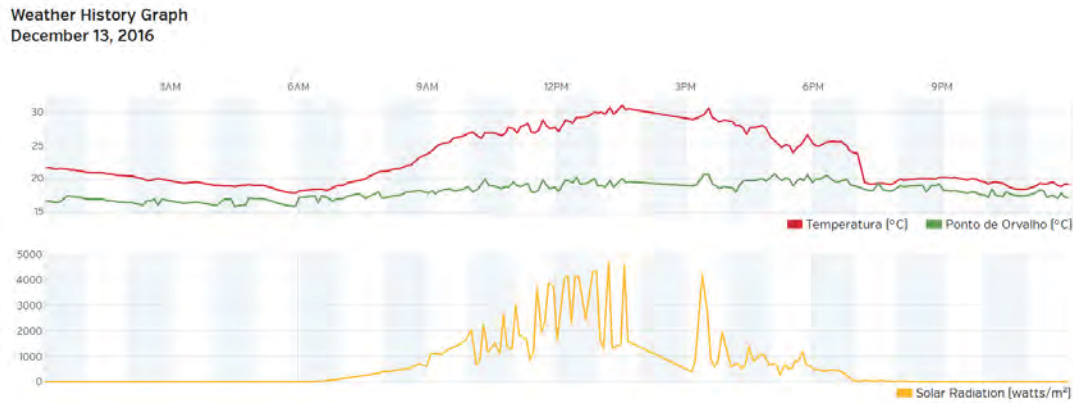


Figura 22. Dados de um coletor enviados ao Wunderground

só o molhamento foliar, mas também outros acontecimentos que ocorram diante nas lentes de uma câmera. Os coletores de dados desenvolvidos, além de apresentarem um baixo custo de fabricação (aproximadamente R\$55,00) se mostraram robustos fisicamente e de fácil instalação. A plataforma de coleta e processamento de dados desenvolvida funcionou de acordo com o esperado, suportando a exposição ao ambiente e armazenando os dados de todos os sensores em conjunto com as imagens. A comunicação entre a rede sem fio de dispositivos, bem como a conexão wifi utilizada para o compartilhamento dos dados também foram bem sucedidas, as únicas ressalvas são o alto consumo de energia e a baixa qualidade dos filtros IR que por vezes causam ruídos nas imagens e foram utilizados somente pelo baixo custo. O custo total de componentes utilizados na plataforma foi de R\$415,00.

3.6 CONCLUSÕES

Neste projeto foram desenvolvidas duas plataformas que compõem o sistema, uma plataforma para coleta de dados por meio de sensores e outra responsável pela captura, processamento de imagens, armazenamento e disponibilização de dados. Ambas as plataformas atendem os objetivos do trabalho, formando um sistema completo que permite estimar a DMF com o uso de sensores, implementar um algoritmo de processamento de imagens para detectar a presença de água na superfície da folha e, por fim, realizar o cruzamento de informações entre os dois métodos para agregar confiabilidade aos resultados.

4. TESTANDO UM SISTEMA DE SENSORIAMENTO E SEU POTENCIAL PARA A AGRICULTURA

4.1 INTRODUÇÃO

Dispositivos e sensores eletrônicos podem ser utilizados nas mais diversas áreas além da agrícola, como em ambientes industriais, laboratórios controlados ou residências, porém mesmo que os componentes eletrônicos utilizados sejam semelhantes, cada aplicação possui suas peculiaridades e características que devem ser consideradas no desenvolvimento de um dispositivo. Assim, se faz necessário testar, incrementar, refinar e por fim validar o desempenho de um dispositivo antes de considerá-lo próprio para a aplicação desejada.

Buscando viabilizar a aplicação de um sistema de sensoriamento voltado ao auxílio na prática da agricultura, foram realizados diversos testes com os dois dispositivos desenvolvidos que o integram (Dispositivos sensores e dispositivo central). As metodologias e testes utilizados na validação do sistema são descritos nas demais seções deste capítulo.

4.2 ESTRUTURA DE TESTES E METODOLOGIA

Os dispositivos foram instalados junto à uma videira localizada em na zona urbana de Passo Fundo (RS), buscando testar seu funcionamento e validar as informações obtidas diante de uma aplicação real em campo. A videira foi escolhida devido à sua alta susceptibilidade a doenças causadas por fungos, entre elas se destacam o míldio e o oídio.

4.2.1 Míldio

O míldio da videira, causado pelo fungo *Plasmopara viticola*, é a principal doença fúngica da videira [53] e causa grande impacto econômico em várias regiões do mundo [54], especialmente em locais nos quais o verão é úmido como no Sul e Sudeste brasileiros [55].

A doença afeta os ramos, folhas e cachos da videira podendo causar até mesmo a perda total da produção. Nas folhas os primeiros sintomas são manchas amareladas denominadas manchas-óleo, que se formam na face superior, como mostra a Figura 23 (a)[53]. Sob condições climáticas favoráveis, surgem manchas brancas decorrentes da frutificação do fungo na face inferior, em um estado mais avançado da infecção, ocorre a necrose das áreas afetadas que podem ser visualizadas na Figura 23 (b) podendo acarretar na queda da folha, o que afeta a produção na safra seguinte.

Quando atinge os cachos ainda em formação, a doença causa escurecimento da raquis e desgrana, podendo ocorrer a esporulação do fungo, como na Figura 23 (c). Em cachos já desenvolvidos o patógeno atua dentro do fruto, tornando o grão escuro e com a superfície deprimida.

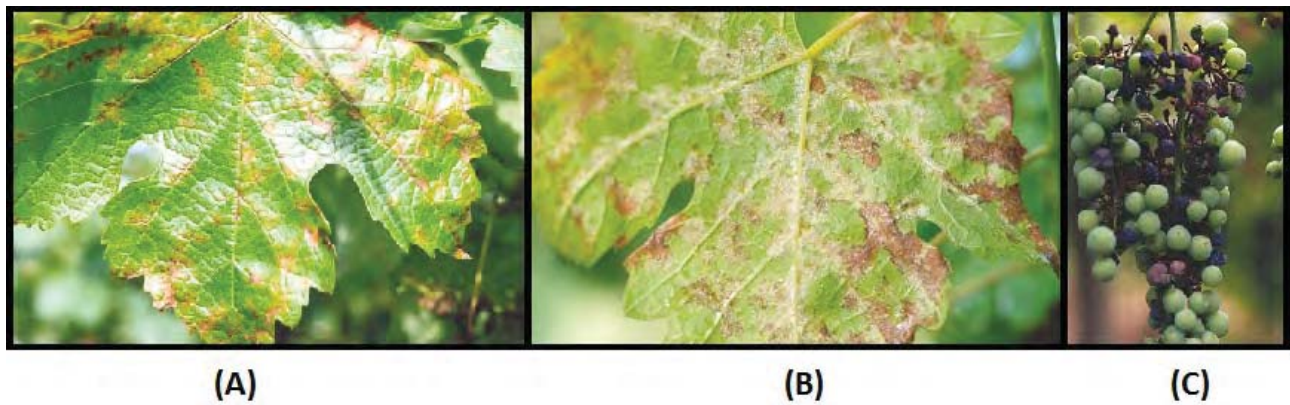


Figura 23. Videira infectada pelo Míldio. (A) Vista superior da folha, (B) Vista inferior da folha, (C) Fruto. [53].

As melhores condições para o desenvolvimento do *Plasmopara viticola* são temperaturas do ar entre 18 e 25 °C e umidade relativa do ar a cima de 95% e para que ocorra a infecção o fungo necessita que haja molhamento foliar por um período de pelo menos 2 horas.

4.2.2 Oídio

O Oídio é causado pelo fungo *Uncinula necator*[54] e se manifesta nas folhas em forma de manchas acinzentadas em ambos os lados da folha, podendo exibir manchas semelhantes às do Míldio mostradas na folha da Figura 24 (a). Em infecções mais severas, o oídio pode causar o não desenvolvimento ou enrolamento das folhas [53].

Os danos mais significativos são causados nos cachos e brotos, é possível ocorrer rachaduras nos grãos, e em casos piores, aborto das inflorescências como ocorre na Figura 24 (b), podendo resultar na perda da produção em sua totalidade [56].

Este patógeno se desenvolve mais facilmente em temperaturas entre 20 e 27 °C e umidade relativa do ar de 40% a 60%. Neste caso a presença do molhamento foliar pode limitar o desenvolvimento do fungo [54].



Figura 24. Planta afetada pelo Oídio. (A) Folha, (B) Fruto[53].

Para a realização dos testes de funcionamento no campo de atuação, foram contemplados fatores simples, mas que podem comprometer o bom andamento do projeto. Nestes testes foram contemplados fatores como resistência à umidade e chuva, resistência à variação de temperatura e autonomia de energia. O desempenho da comunicação entre os módulos foi avaliado com base em três fatores principais: distância máxima de comunicação entre os dispositivos, quantidade de pacotes perdidos e a influência do ambiente nos resultados.

No teste de confiabilidade dos dados coletados pelos dispositivos sensores foi realizada uma comparação entre as informações provenientes de uma estação comercial modelo Ws-hp2k-1 instalada a cerca de dois metros de distância dos sensores testados. Quanto ao dispositivo central, que tem como principal tarefa a identificação da DMF, foi submetido a testes em ambiente fechado para validar a possibilidade de identificar e quantificar o acúmulo de água em folhas de videira para depois ser submetido a testes em campo.

4.3 TESTES DE FUNCIONAMENTO EM CAMPO

Nos testes de resistência à umidade e precipitação, os dispositivos coletores e o central foram deixadas em ambiente externo durante 3 meses nos quais ocorreram chuvas, também foram lavados utilizando um jato de pressão, mesmo assim permaneceram funcionando e sem a presença de água na parte interior do abrigo.

Em outro teste, os dispositivos foram submetidos a variações bruscas de temperatura (entre 12 e 40°C), o que revelou um ponto crítico da caixa que protege o circuito. A borracha de vedação resseca facilmente permitindo a entrada de água no abrigo, o que pode ser resolvido com a simples aplicação de uma fina camada de graxa na superfície da borracha.

A elevação da temperatura pouco afetou os coletores, porém, o dispositivo central apresentou ser sensível ao aumento de temperatura devido ao aquecimento elevado de alguns elementos como os LED's e o Raspberry Pi. Devido à alta potência os LED's derreteram o silicone que os fixava à estrutura e o estanho que os mantinha conectados. Para contornar este problema os LED's foram fixados com resina epoxi por torná-los mais resistentes ao calor.

Quanto ao fator autonomia de energia, os coletores de dados não tiveram problemas pois devido ao seu baixo consumo (em média 13mAh). Utilizando apenas uma bateria de 800mAh mesmo sem incidência de luz o circuito tem uma autonomia de 60h. O dispositivo central tem um consumo de energia elevado pois engloba 15 LED's de 3W, um Raspberry Pi e o receptor de dados da rede de sensores totalizando um consumo médio de 650mAh, o que obriga o uso de uma fonte de energia mais potente para garantir ao sistema a autonomia necessária.

4.4 TESTES DE COMUNICAÇÃO

No decorrer dos testes foram utilizados três coletores conectados à rede simultaneamente, a rede funcionou sem maiores problemas porém o alcance dos módulos de radiofrequência foi menor

do que o esperado. Em testes de bancada o alcance dos coletores girava em torno de 10m porém em campo os coletores mantinham a comunicação apenas em distâncias inferiores a 7m, pesquisas indicam sinais de 2.4GHz são consideravelmente atenuados pela vegetação devido as suas folhas[57], o que justifica a queda de desempenho dos módulos de radiofrequência visto que os coletores são instalados junto às folhas (Figura 25).



Figura 25. Coletores instalados junto às folhas

4.5 TESTES E VALIDAÇÃO DOS SENSORES

Os sensores DHT22 responsáveis pela coleta de dados do sistema são amplamente utilizados em outras medições semelhantes às realizadas neste trabalho. Porém, apesar de seu desempenho ser conhecido individualmente, ele teve de ser testado em conjunto com os demais componentes.

O gráfico da Figura 26 apresenta simultaneamente os dados obtidos pela estação Ws-hp2k-1 e por um coletor desenvolvido, permitindo observar a semelhança entre a resposta dos sensores dos dois dispositivos. Em determinados momentos ocorre uma diferença levemente acentuada entre as temperaturas, sendo possível visualizar sua ocorrência nos horários das 11:39 às 12:30h. Entretanto as informações provenientes do sensor de luminosidade revelam que tal variação acompanha a incidência de luz solar nos dispositivos, que ocorre de com intensidades diferentes e portanto influência nas medições de umidade e temperatura.

Outro fator observado é que devido ao sensor de luminosidade estar posicionado distante do sensor de umidade e temperatura, sua efetividade é reduzida, pois em determinados momentos o sensor instalado na parte externa da caixa sofre a incidência de raios solares enquanto o LDR está sob a sombra.

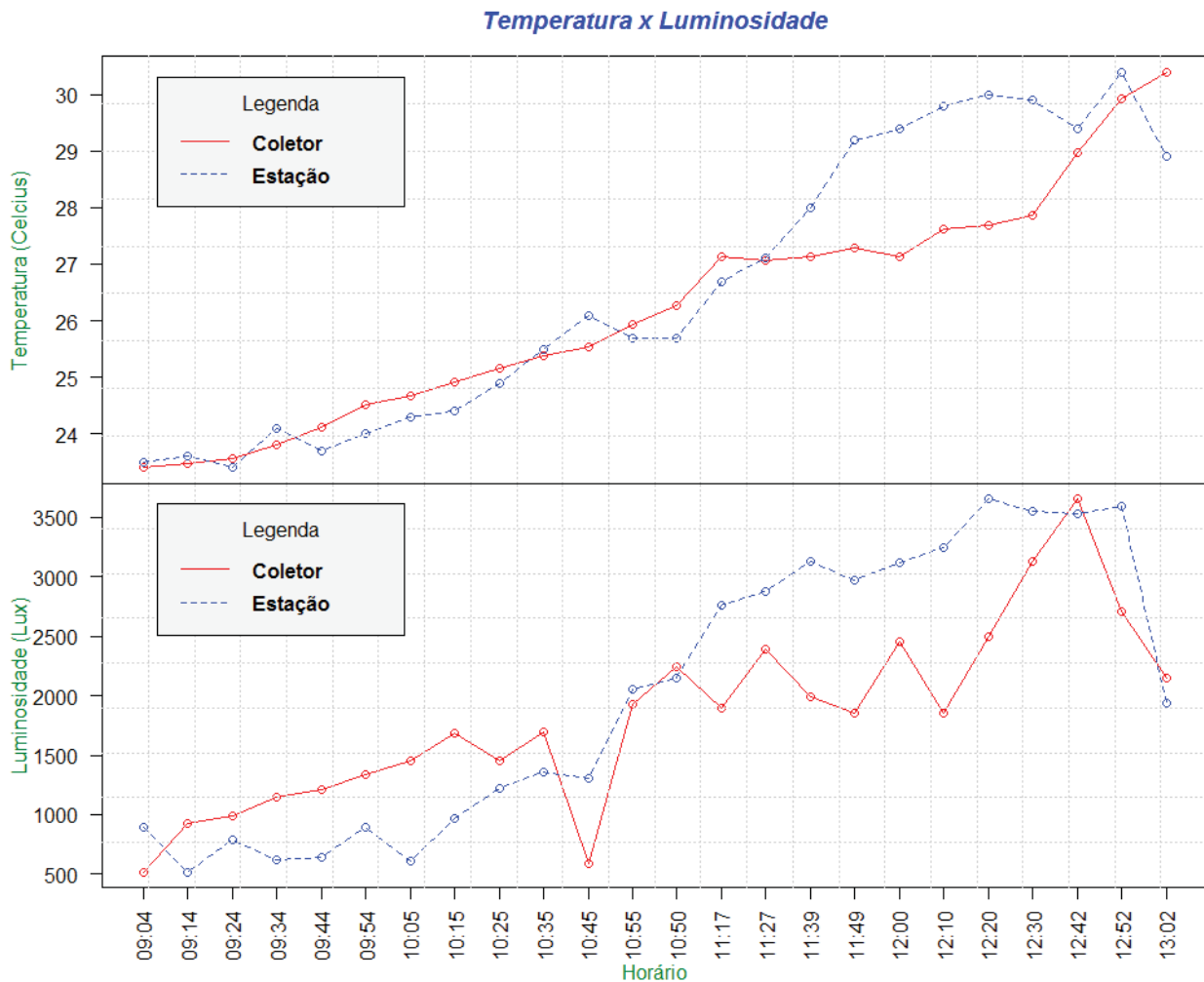


Figura 26. Comparação dos dados de luminosidade e temperatura coletados por diferentes dispositivos

4.6 TESTES DE DETECÇÃO DE MOLHAMENTO FOLIAR

Por fim são apresentados os testes de captura e processamento de imagens para detectar molhamento foliar. Estes testes buscam validar a utilização desta técnica como um novo método de sensoriamento e monitoramento dos fenômenos que influenciam o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

4.6.1 Testes em ambiente controlado

Estes testes foram realizados em conjunto com o desenvolvimento do algoritmo de detecção, o que permitiu o refinamento e ajuste dos parâmetros de entrada das funções da biblioteca OpenCV tendo como referência apenas a análise de imagens da folha com ruído externo controlado.

Para a coleta das imagens foi construída uma câmara com paredes escuras e dimensões de 35x45cm. Nela foi inserido o dispositivo central para fotografar folhas fixadas a 30cm de distância.

As folhas utilizadas foram molhadas manualmente e suas imagens capturadas em intervalos de cinco minutos até a evaporação total da água acumulada na sua superfície.

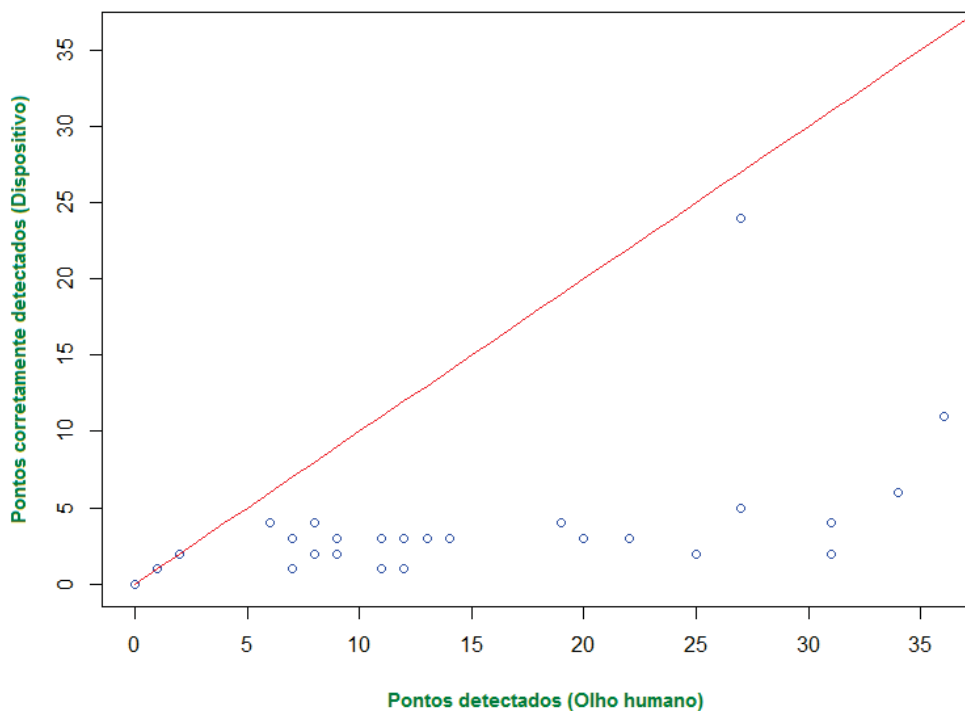


Figura 27. Pontos observados pelo olho humano versus os interpretados pelo algoritmo em teste de bancada

Utilizando-se de 30 imagens coletadas no primeiro teste foi plotado o gráfico da Figura 27, no qual é possível visualizar a relação entre os pontos observados e selecionados manualmente, e os pontos corretamente detectados pelo dispositivo. Analisando os resultados nota-se que o dispositivo apresenta dificuldades em quantificar os pontos de acúmulo de água na superfície da folha a medida que os pontos aumentam, contudo, considerando uma detecção da ocorrência do molhamento, o dispositivo demonstrou ser confiável detectando pontos apenas quando a folha realmente encontra-se molhada.

Devido a grande diferença entre os pontos observados e os detectados, nos demais testes foram plotados gráficos (Figuras 28 e 29) mostrando a relação entre os pontos marcados pelo dispositivo e os pontos detectados em que realmente existe o acúmulo de água. Estes testes foram realizados buscando a avaliar a acurácia dos pontos detectados. Os resultados obtidos nos dois testes realizados foram positivos, visto que os pontos obtidos se aproximam dos ideais demonstrando uma baixa ocorrência de falsos positivos.

Observando os gráficos (Figuras 27, 28 e 29) é possível ainda concluir que quanto menor o número de pontos detectados, maior é a acurácia do dispositivo, ou seja, se o algoritmo for otimizado para selecionar apenas pontos onde a probabilidade de acerto é alta a confiabilidade da informação

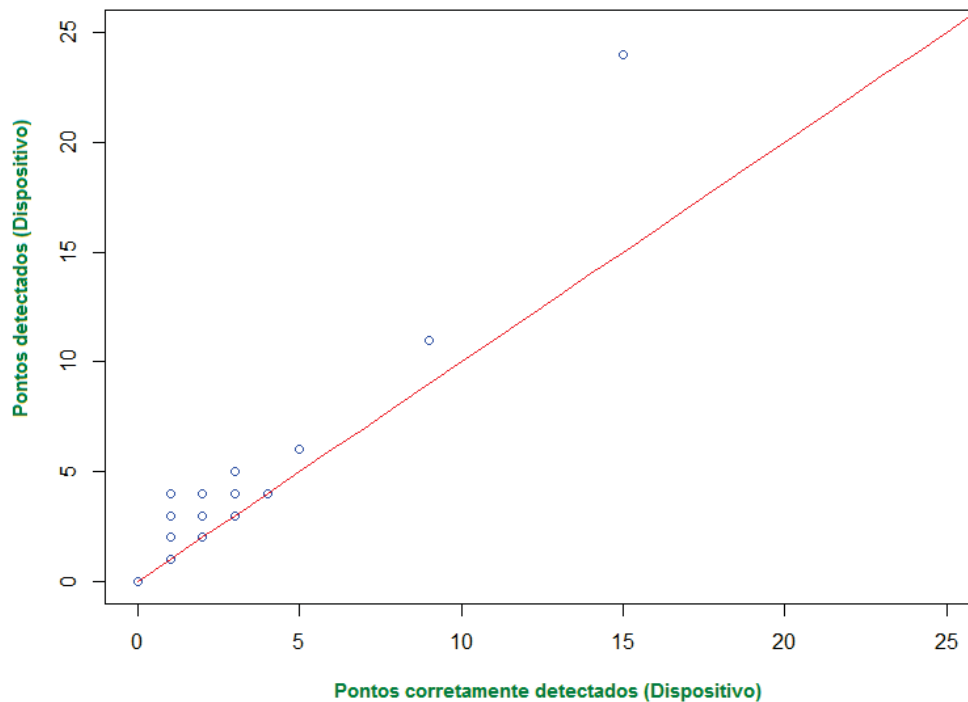


Figura 28. Pontos interpretados pelo algoritmo versus corretamente interpretados pelo algoritmo (Primeiro teste)

aumenta, porém o número de pontos detectados é reduzido. Em contrapartida, ao reduzir a seletividade aumentam os pontos detectados e junto a eles, os falsos positivos.

4.6.2 Testes em campo

Após os testes em ambiente fechado, com o algoritmo e os componentes já definidos, o dispositivo foi instalado junto à videira evitando a presença de folhas a uma distância menor do que 15cm para que fosse possível contemplar ao menos uma folha inteira na imagem. Foram utilizados no teste um conjunto de cinquenta imagens, contemplando desde o início até o fim do período de molhamento foliar.

O gráfico da Figura 30 mostra a relação entre os pontos de molhamento detectados automaticamente e os pontos observados. Observando o gráfico identifica-se uma situação semelhante a ocorrida em ambiente fechado, visto que como o esperado, quando a imagem contém menos pontos de molhamento a acurácia do algoritmo é maior. Infelizmente os ruídos externos interferiram mais do que o esperado nas imagens, causando problemas como:

- Erros de identificação causados pela falta de calibração. As Figuras 31 e 32 trazem imagens nas quais houveram marcações feitas pelo algoritmo mesmo sem acúmulo de água livre em diferentes situações.

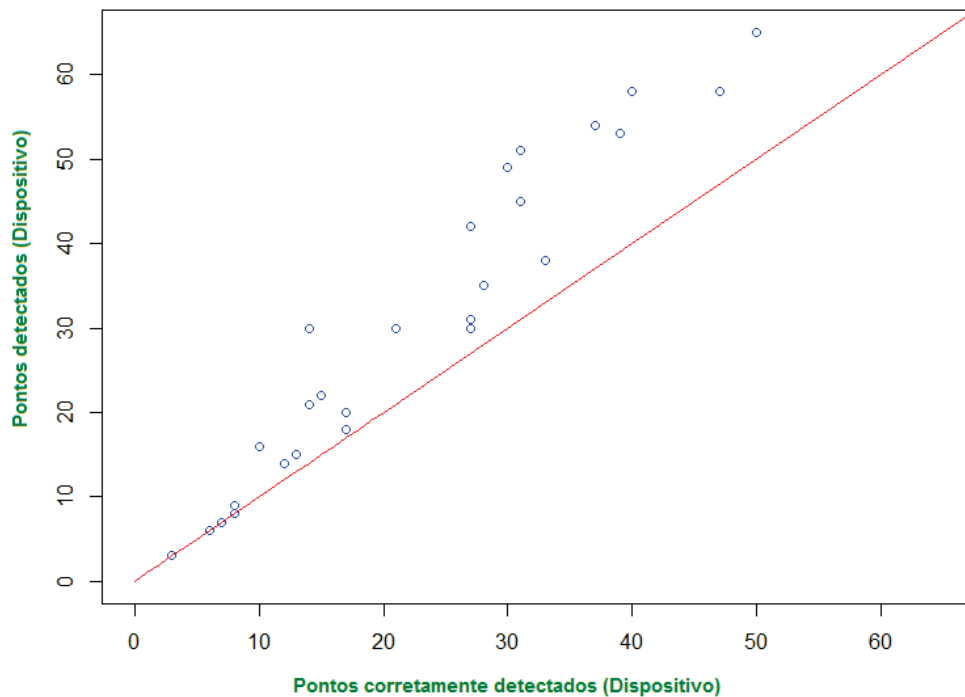


Figura 29. Pontos interpretados pelo algoritmo versus corretamente interpretados pelo algoritmo (Segundo teste)

- Excesso de pontos marcados devido ao ruído de fundo. Na Figura 33 é possível visualizar os pontos marcados no gramado ao fundo da imagem.
- A influência da iluminação externa pode causar redução do contraste afetando a detecção de bordas. Este efeito acarreta no descarte de pontos, como apresenta a imagem da Figura 34.
- Na ocorrência de uma forte incidência de luz solar, o fundo da imagem torna-se mais claro do que a folha iluminada pelos LED's, causando a inversão da máscara de identificação das folhas. Nesta situação o algoritmo identifica as bordas no fundo da imagem ao invés de observar a folha, como mostra a Figura 35.

4.7 DISCUSSÃO

A agricultura de precisão, quando aplicada no cultivo de videiras, tem como principais objetivos a otimização do uso da água, previsão de doenças e uso controlado de pesticidas. Variáveis como temperatura ambiente, molhamento foliar, e umidade relativa do ar são extremamente importantes para que se alcance tais objetivos[1]. Dados inconsistentes podem afetar a tomada de decisão do produtor, acarretando em grandes prejuízos, portanto nestes testes a preferência foi priorizar a redução de dados inconsistentes no sistema, mesmo que isto acarreta-se em uma redução das funcionalidades do mesmo.

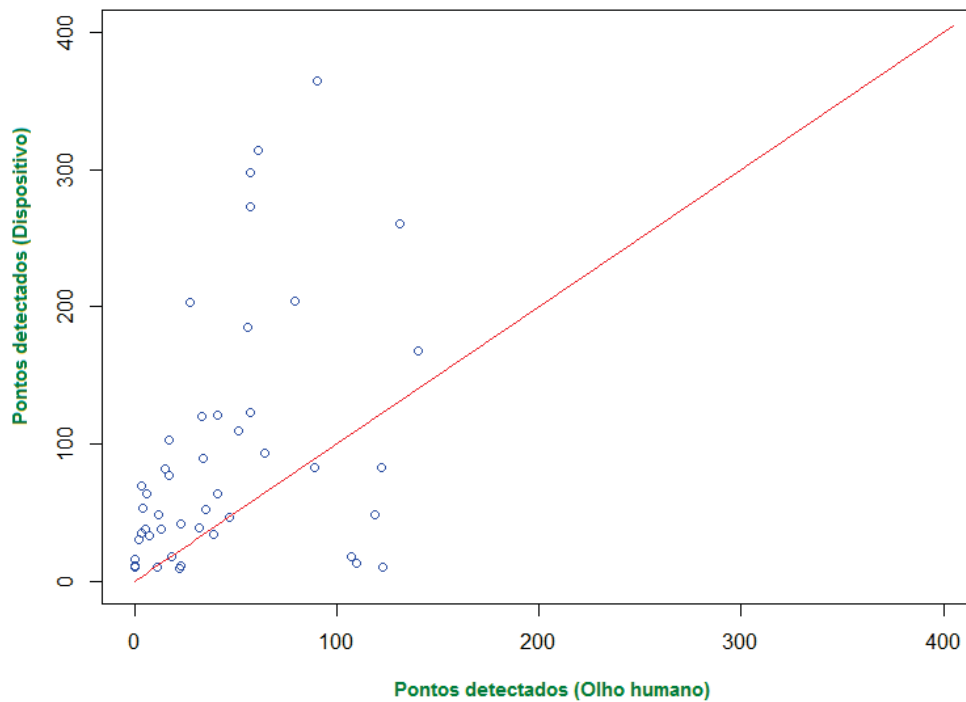


Figura 30. Pontos observados pelo olho humano versus os interpretados pelo algoritmo em teste de campo

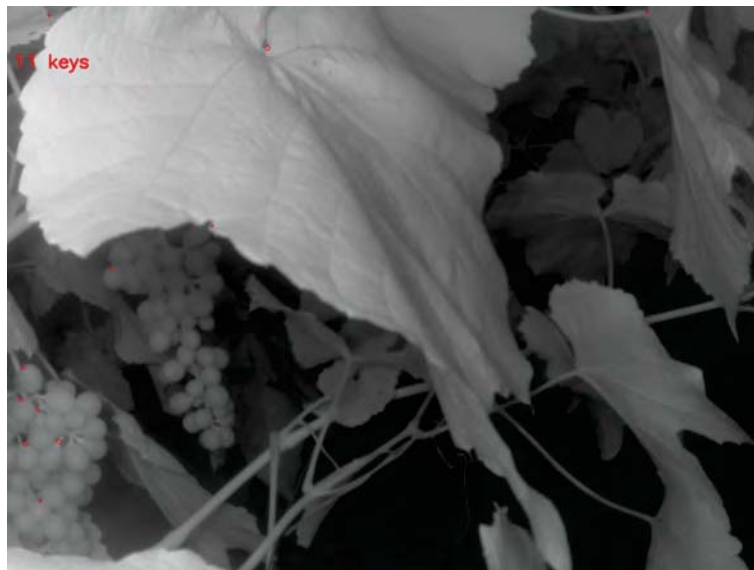


Figura 31. Identificação errônea do molhamento foliar

Os testes dos sensores apresentaram resultados positivos, cabendo apenas uma pequena alteração no posicionamento do sensor de luminosidade para um melhor desempenho. Quanto a detecção do molhamento foliar mostrou-se confiável em ambiente fechado, foi possível detectar a presença de água na superfície da folha de maneira qualitativa, a dificuldade encontrada está na quantificação do molhamento foliar. No entanto, quando submetido aos testes de campo o algoritmo

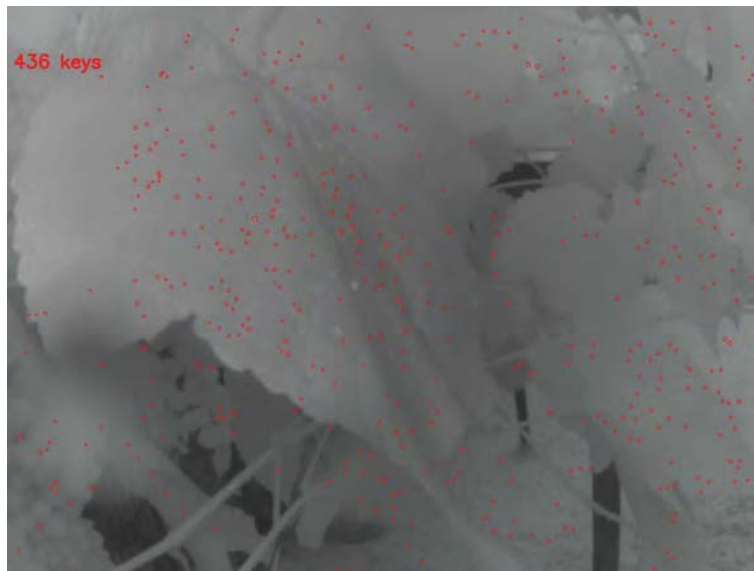


Figura 32. Identificação errônea do molhamento foliar



Figura 33. Imagem capturada afetada pelo ruído de fundo

de detecção não obteve resultados contundentes devido à forte interferência da luz solar e ruídos de fundo mesmo com a utilização de filtros IR Pass. Uma possível aplicação para a plataforma no estado atual é o estudo da influência da umidade relativa do ar e a temperatura na formação de orvalho sobre as folhas das plantas, visto que a união dos dados coletados dos sensores e as imagens capturadas facilita a definição dos cálculos utilizados para estimar o molhamento foliar com dados de umidade e temperatura.

4.8 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram projetados e desenvolvidos diferentes dispositivos para detecção do molhamento foliar. Os dispositivos que utilizam sensores por se tratarem de uma tecnologia bastante



Figura 34. Imagem capturada com baixo contraste

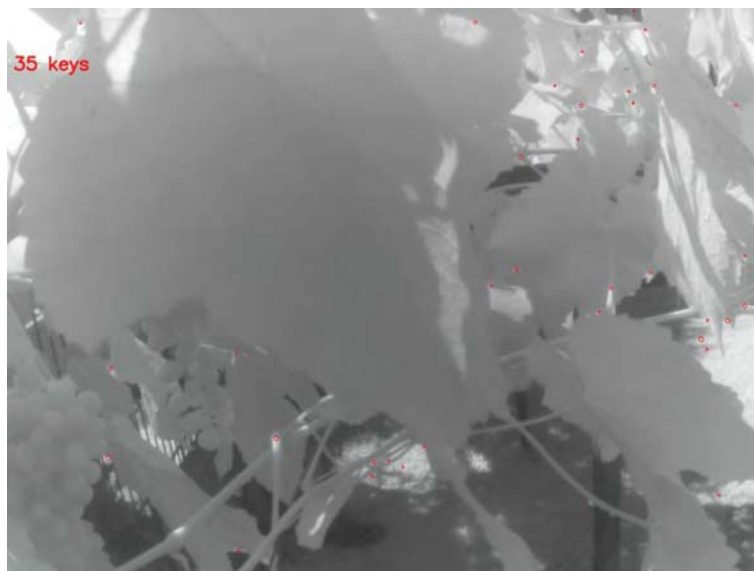


Figura 35. Imagem capturada com forte incidência de luz solar

utilizada foram facilmente desenvolvidos, porém a detecção por meio de processamento de imagens ainda deve ser aprimorada para tornar-se uma ferramenta aplicável em situações reais.

O algoritmo desenvolvido para detecção de molhamento foliar se mostrou eficaz em ambiente fechado, o que comprova que com algumas melhorias no sistema é possível obter resultados positivos também em campo. Diante dos resultados, é possível considerar que os dispositivos e códigos desenvolvidos neste trabalho são ferramentas que abrem um leque de possibilidades para trabalhos futuros tanto na área acadêmica quanto comercial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho resultou no desenvolvimento de dispositivos destinados a detecção do molhamento foliar, atendendo os objetivos do projeto alvejam o desenvolvimento dispositivos para sensoriamento e processamento de imagens que e apesar de estarem fisicamente prontos para serem instalados no campo são apenas protótipos. O sistema como um todo deve passar por um processo de refinamento para fornecer a confiabilidade exigida de um produto.

A pesquisa de um método de detecção do molhamento foliar por meio de imagens está apenas iniciando, e os resultados mostram que é uma alternativa promissora em relação aos métodos encontrados no mercado.

Para que o método deixe de ser uma possibilidade e se torne uma afirmação é necessária a continuidade do trabalho. Algumas sugestões de trabalhos futuros para a continuidade da pesquisa são descritos a seguir:

- Desenvolvimento de um algoritmo adaptativo com inteligência artificial alimentado pelos dados pelos sensores, a fim de superar problemas como a interferência solar e possibilitar o uso do mesmo dispositivo em diferentes ambientes de cultivo;
- Realização de testes para encontrar o melhor posicionamento da câmera e da fonte de iluminação artificial;
- Criação de novas funcionalidades no algoritmo, para a detecção de doenças, taxa de crescimento da planta, taxa de crescimento dos frutos e detecção de insetos pragas por meio de processamento de imagens e inteligência artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OJHA, T.; MISRA, S.; RAGHUWANSHI, N. S. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 118, p. 66–84, 2015.
- [2] BRUGGEN, A. H. V.; FRANCIS, I. M. Case investigation and forensic evidence for a new plant disease: The case of lettuce corky root. *Plant Disease*, Am Phytopath Society, v. 99, n. 3, p. 300–309, 2015.
- [3] CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. et al. *Introduction to plant disease epidemiology*. [S.l.]: John Wiley & Sons., 1990.
- [4] BREGAGLIO, S. et al. Multi metric evaluation of leaf wetness models for large-area application of plant disease models. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier, v. 151, n. 9, p. 1163–1172, 2011.
- [5] LECA, A. et al. Comparison of penman–monteith and non-linear energy balance approaches for estimating leaf wetness duration and apple scab infection. *Agricultural and forest meteorology*, Elsevier, v. 151, n. 8, p. 1158–1162, 2011.
- [6] GUYOT, J.; OMANDA, E. N.; PINARD, F. Some epidemiological investigations on colletotrichum leaf disease on rubber tree. *Crop Protection*, Elsevier, v. 24, n. 1, p. 65–77, 2005.
- [7] HUBER, L.; GILLESPIE, T. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Annual review of phytopathology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 30, n. 1, p. 553–577, 1992.
- [8] MARTA, A. D. et al. Influence of different sensor positions on leaf wetness duration measurements and their effect on the simulation of grapevine downy mildew (plasmopara viticola). *Idojaras*, Hungarian Meteorological Service, v. 108, n. 4, p. 253–263, 2004.
- [9] PAPASTAMATI, K.; MCCARTNEY, H.; BOSCH, F. Van den. Modelling leaf wetness duration during the rosette stage of oilseed rape. *Agricultural and forest meteorology*, Elsevier, v. 123, n. 1, p. 69–78, 2004.
- [10] GILLESPIE, T.; SRIVASTAVA, B.; PITBLADO, R. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in southern ontario, canada. *Journal of Applied Meteorology*, v. 32, n. 3, p. 567–573, 1993.
- [11] MAGAREY, R. D. *A theoretical standard for estimation of surface wetness duration in grape*. [S.l.]: Cornell University, May, 1999.

- [12] MADEIRA, A. et al. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier, v. 111, n. 1, p. 55–63, 2002.
- [13] SENTELHAS, P. C. et al. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. *International Journal of Biometeorology*, Springer, v. 49, n. 6, p. 363–370, 2005.
- [14] MARTA, A. D. et al. Leaf wetness duration in sunflower (*helianthus annuus*): Analysis of observations, measurements and simulations. *European journal of agronomy*, Elsevier, v. 26, n. 3, p. 310–316, 2007.
- [15] PONTE, E. M. D.; FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W. A risk infection simulation model for fusarium head blight of wheat. *Fitopatologia Brasileira*, SciELO Brasil, v. 30, n. 6, p. 634–642, 2005.
- [16] N. TRIGIANO, M. T. R.; S. WINDHAM, A. *PLANT PATHOLOGY - Concepts and Laboratory Exercises*. Washington D.C.: CRC Press LLC, 2004. 722 p.
- [17] SENTELHAS, P. C. Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de penman-monteith. *Piracicaba: ESALQ/USP (Tese de Livre-Docência)*, 2004.
- [18] CLEMENT, D. L. *An Introduction to Plant Diseases*. Ithaca, 1993. 35 p.
- [19] MOOMAW, W. et al. The critical role of global food consumption patterns in achieving sustainable food systems and food for all. *UNEP Discussion Paper*, 2012.
- [20] GRAICHEN, R. R. da Silveira e F. A. S. *AUXÍLIO NA DIAGNOSE DE DOENÇAS DE PLANTAS À COMUNIDADE ACADÊMICA DA UEMS - AQUIDAUANA*. [S.l.], 2010.
- [21] LULU, J. *Duração do período de molhamento em vinhedo de 'Niagra Rosada' e sua relação com a ocorrência de ídio (*Plasmopara viticola*)*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 2008.
- [22] GUEDES, A. L. *Uma plataforma de hardware e software para desenvolvimento de redes de sensores sem fios aplicada a agrometeorologia*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Elétrica – UEL, Londrina, PR, Brasil, 2013.
- [23] CHEN, K. Y. et al. Re-defining the roles of sensors in objective physical activity monitoring. *Medicine and science in sports and exercise*, NIH Public Access, v. 44, n. 1 Suppl 1, p. S13, 2012.
- [24] FRADEN, J. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2004.
- [25] SCLATER, N. *Electronic Technology Handbook*. [S.l.]: McGraw-Hill Professional, 1999.
- [26] ROWLANDSON, T. L. *Leaf wetness: implications for agriculture and remote sensing*. [S.l.: s.n.], 2011.

- [27] SENTELHAS, P. C. et al. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agricultural and forest meteorology*, v. 148, p. 392–400, 2008.
- [28] MIZUGUCHI, J. *Sensores Capacitivos por Efeito do Campo de Borda Aplicados a Quantificação do Molhamento Foliar e da Água Presente no Solo*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Elétrica – UEL, Londrina, PR, Brasil, 2013.
- [29] MODEL 237 Leaf Wetness Sensor. [S.l.], 2010. Disponível em: <http://biogeodb.stri.si.edu/physica_monitoring/downloads/237.pdf>.
- [30] LEAF Wetness Dielectric Sensor. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.decagon.com/assets/Information-Sheets/LeafWetness.pdf>>.
- [31] FARAHANI, H.; WAGIRAN, R.; HAMIDON, M. N. Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: A comprehensive review. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 5, p. 7881–7939, 2014.
- [32] TEMPERATURE and humidity module AM2302 Product Manual. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>>.
- [33] SERIES RHRS Outside Air Humidity Radiation Shield. 2015. Disponível em: <http://www.dwyer-inst.com/images/addtl/RHRS_SIDE_600x600.gif>.
- [34] TOMMASELLI, A. M.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M. Modernas tecnologias de aquisição de imagens em fotogrametria. *Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba*, v. 6, n. 1, p. 49–64, 2000.
- [35] CMOS Sensor Cameras for Digital Vision. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.looptechnology.com/cmos-sensor-cameras.asp.LELTfK7lv0>>.
- [36] BAYER Filter. <http://4.bp.blogspot.com/-lho3fLPgwjc/URLLy2asH3I/AAAAAAAAAS9g/2b09iwPriEg/s1600/bayer2.jpg>. Accessed: 2017-01-15.
- [37] BAADER Planetarium Narrowband Filters. http://www.company7.com/library/sbig/sbwhtmls/announcement_baader_narrowband_f2.htm. Accessed: 2017-01-10.
- [38] MANGOLD, K.; SHAW, J. A.; VOLLMER, M. The physics of near-infrared photography. *European Journal of physics*, IOP Publishing, v. 34, n. 6, p. S51, 2013.
- [39] INTRODUCTION to categorization of objects from their data. <http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c00-p05.html>. Accessed: 2017-01-13.
- [40] MAI, L. *Introduction to Image Processing and Computer Vision*. [S.l.]: Institute of Information Technology, Hanoi, 2010.
- [41] YOUNG, I. T.; GERBRANDS, J. J.; VLIET, L. J. V. *Fundamentals of image processing*. [S.l.]: Delft University of Technology Delft, The Netherlands, 1998.

- [42] BRADSKI, G.; KAEHLER, A. *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2008.
- [43] ALBUQUERQUE, M. P. de; ALBUQUERQUE, M. P. de. *Processamento de imagens: métodos e análises*. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas MCT, 2000.
- [44] MATOS, G. et al. Sistema de visão artificial baseado em detecção de cores (para sistemas de controle de robôs celulares com realimentação visual). *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente—SBAI*. Florianópolis—SC, Brasil, 2007.
- [45] FACON, J. A morfologia matemática e suas aplicações em processamento de imagens. *VII Workshop de Visão Computacional*, 2011.
- [46] GILLESPIE, T.; KIDD, G. Sensing duration of leaf moisture retention using electrical impedance grids. *Canadian Journal of Plant Science*, NRC Research Press Ottawa, Canada, v. 58, n. 1, p. 179–187, 1978.
- [47] DURIGON, A.; LIER, Q. van. Duração do período de molhamento foliar: Medição e estimativa em feijão sob diferentes tratamentos hídricos. *Rev Bras Eng Agric Ambient*, SciELO Brasil, v. 17, p. 200–207, 2013.
- [48] LEANDRO, L. et al. Influence of temperature and wetness duration on conidia and appressoria of colletotrichum acutatum on symptomless strawberry leaves. *Phytopathology*, Am Phytopath Society, v. 93, n. 4, p. 513–520, 2003.
- [49] ROWLANDSON, T. et al. Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant Disease*, Am Phytopath Society, v. 99, n. 3, p. 310–319, 2015.
- [50] CUNHA, A. L. B. N. D. *Sistema automático para obtenção de parâmetros do tráfego veicular a partir de imagens de vídeo usando OpenCV*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- [51] LAWRENCE, M. G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 86, n. 2, p. 225–233, 2005.
- [52] WUNDERGROUND Webpage. 2017. Disponível em: <<https://www.wunderground.com/>>.
- [53] DOENÇAS Fúngicas e Medidas de Controle. [S.l.], 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/doe>>
- [54] ANGELOTTI CARLOS ALBERTO TUÃO GAVA, D. d. C. B. J. M. C. F. W. P. F. Sistema de alerta e previsão para doenças da videira. *Embrapa*, Embrapa, 2012.
- [55] SILVA, C. M. da; BOTELHO, R. V.; FARIA, C. M. D. R. Ação de extratos de cinamomo sobre actions of extracts of chinaberry on plasmopara viticola. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5, 2014.

- [56] ANGELOTTI, F. et al. Mudanças climáticas e o cenário de ocorrência do míldio e do oídio da videira no submédio do vale do são francisco. 2014.
- [57] CHOWDHURY, A. *Long Distance, Low Data Rate Packet Transmission at 868 MHz: Protocol Design and Implementation*. Dissertação (Mestrado) — Universitetet i Agder; University of Agder, 2016.

APÊNDICE A – HARDWARE DO DISPOSITIVO COLETOR DE DADOS

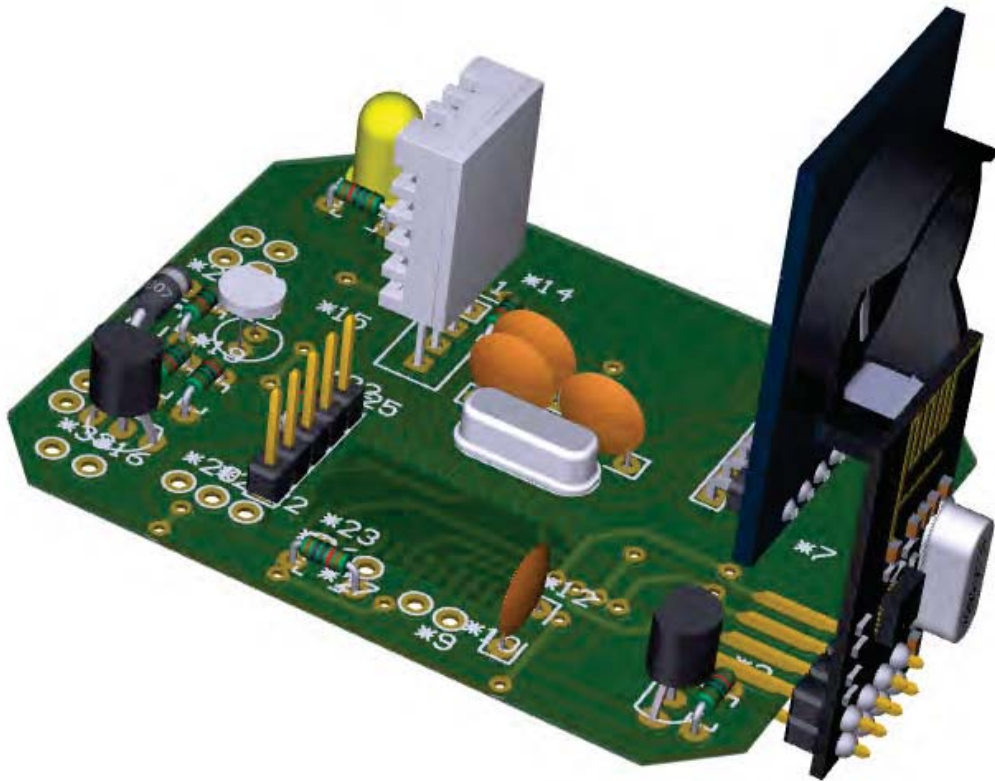


Figura 36. Representação 3D do dispositivo

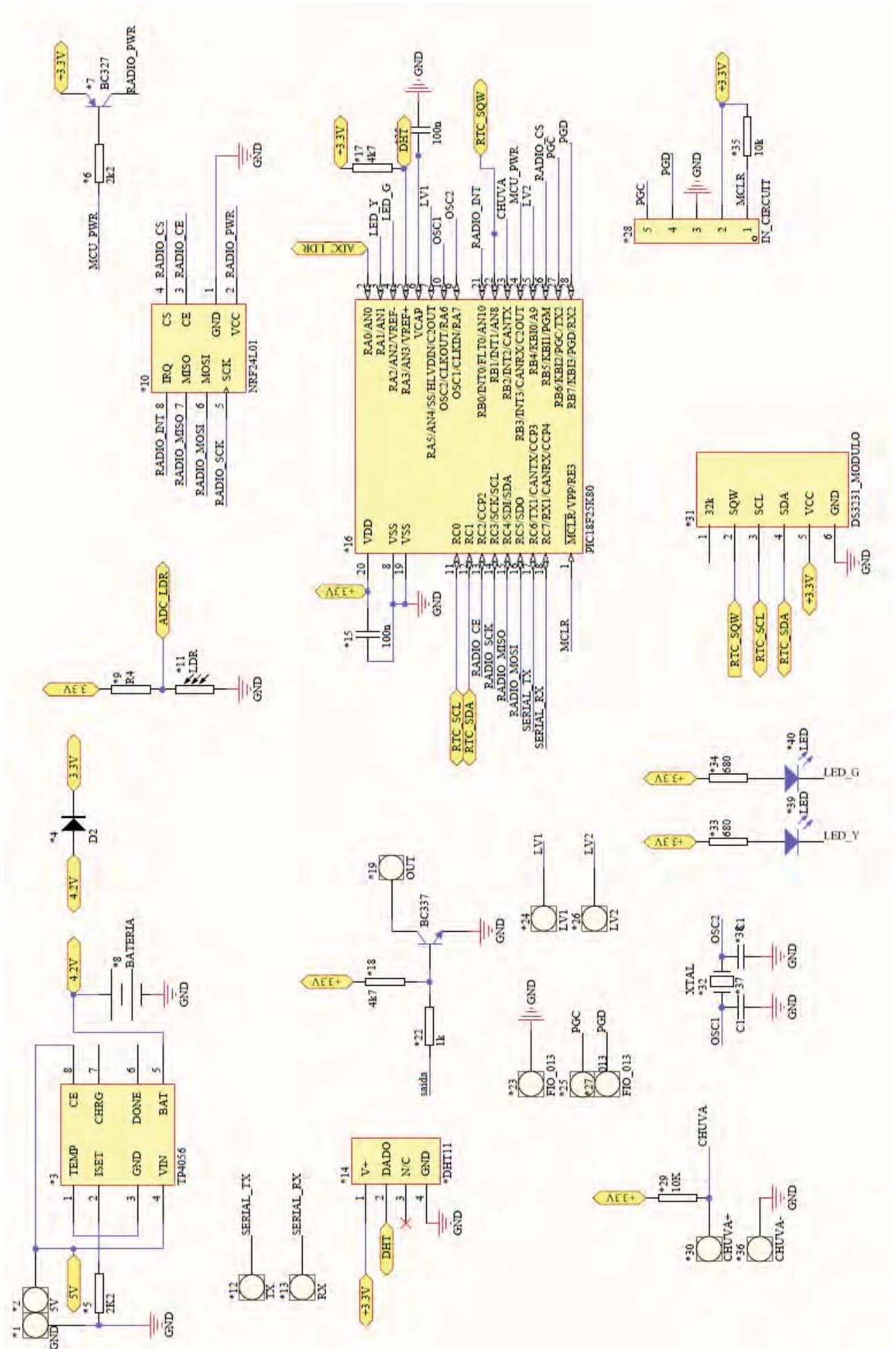


Figura 37. Esquemático do Coletor de dados

APÊNDICE B – HARDWARE CONECTADO AO DISPOSITIVO COLETOR DE IMAGENS

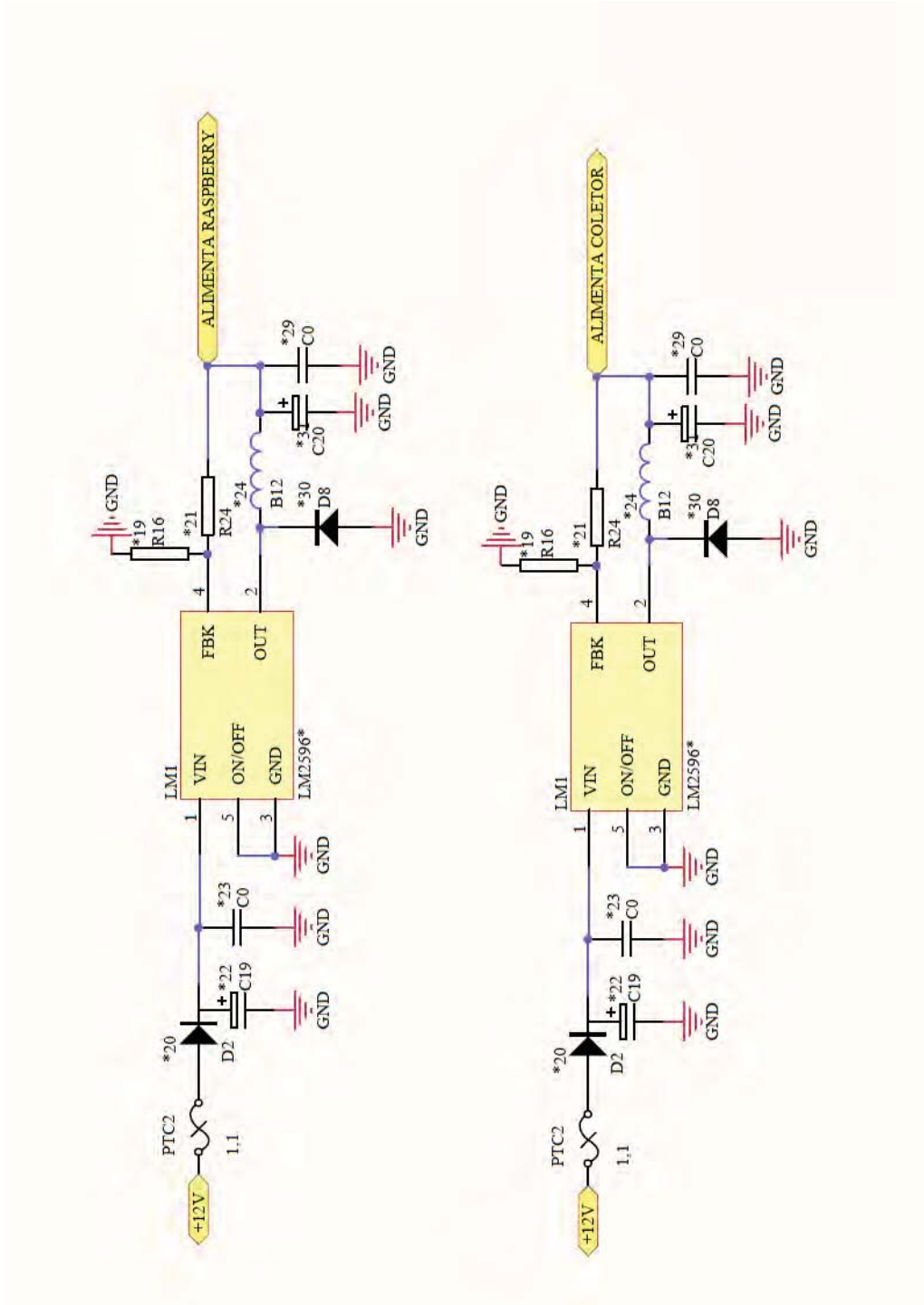


Figura 38. Esquemático dos circuitos de alimentação

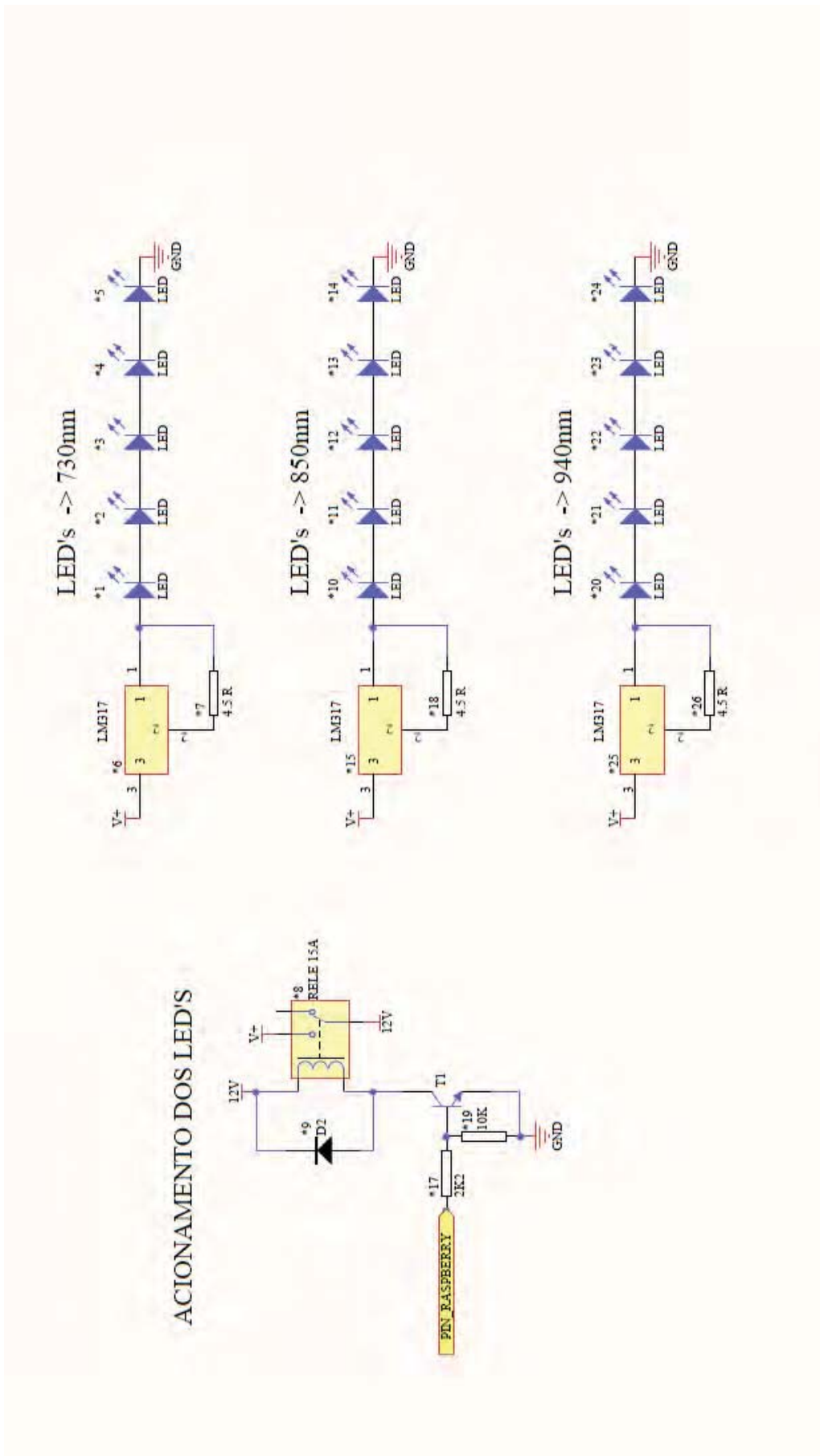


Figura 39. Esquemático dos circuitos de iluminação artificial