

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

Sistema com Baixo Custo de Captura de Imagens Aéreas e
Detecção de Anomalias em Plantações em Tempo Real

Joanacelle Caldas de Melo

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Sinais, Sistemas Digitais e Gráficos

Dr. Alisson V. Brito
(Orientador)

João Pessoa, Paraíba, Brasil

©Joanacelle Caldas de Melo, 27 de janeiro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado de Joanacelle Caldas de Melo, candidata ao título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 31 de janeiro de 2019.

1 Aos trinta e um dias do mês de janeiro, do ano de dois mil e dezenove, às dez horas, no
2 Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em Mangabeira, reuniram-se os
3 membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final da Sr^a. Joanacelle
4 Caldas de Melo, vinculada a esta Universidade sob a matrícula nº 20161020757, candidata
5 ao grau de Mestre em Informática, na área de "Sistemas de Computação", na linha de
6 pesquisa "Sinais, Sistemas Digitais e Gráficos", do Programa de Pós-Graduação em
7 Informática, da Universidade Federal da Paraíba. A comissão examinadora foi composta
8 pelos professores: Alisson Vasconcelos de Brito (PPGI-UFPB) Orientador e Presidente da
9 Banca, Ewerton Monteiro Salvador (UFPB), Examinador Externo, Francisco Petrônio Alencar
10 de Medeiros (IFPB), Examinador Externo à Instituição. Dando início aos trabalhos, o
11 Presidente da Banca, cumprimentou os presentes, comunicou aos mesmos a finalidade da
12 reunião e passou a palavra à candidata para que a mesma fizesse a exposição oral do
13 trabalho de dissertação intitulado: "Sistema com baixo custo de captura de imagens aéreas e
14 detecção de anomalias em plantações em tempo real". Concluída a exposição, a candidata
15 foi arguida pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: "**aprovada**". Do ocorrido,
16 eu, Claurton de Albuquerque Siebra, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
17 Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca
18 examinadora. João Pessoa, 31 de janeiro de 2019.

Prof. Dr. Claurton de Albuquerque Siebra

Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito
Orientador (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Ewerton Monteiro Salvador
Examinador Externo (UFPB)

Prof. Dr. Francisco Petrônio Alencar de Medeiros
Examinador Externo ao Programa (IFPB)

Às minhas filhas de quatro patas, Jojô e Murphy.

Agradecimentos

A Deus por ter me protegido de todas as maneiras, me permitindo chegar até aqui. A minha mãe, Terezinha Montenegro, por sempre ter me impulsionado "para cima e além".

Ao meu orientador Dr. Alisson Brito, por ter exercido seu papel com tanto esmero e dedicação. Por ter sido meu orientador, professor, mestre, incentivador, instigador, psicólogo, amigo, enfim, por ter mudado meu modo de pensar e agir de maneira positiva.

A todos os meus amigos e amigas. Por cada momentos que passamos juntos. Momentos estes que. bons ou ruins, sempre eram bons, pois estávamos juntos. Sem vocês não teria valido a pena.

Ao meu amigo e parceiro de aventuras Renato Constantino por todo apoio e carinho, por todas as vezes que não desistiu da nossa amizade. Mesmo tendo ideais e culturas tão ditintas das minhas. Obrigada Rê, por tudo.

A minha amiga Suzane (minha suzi) pela competência, prontidão, destreza, carinho e amizade. Suzane você foi o melhor dos presentes nesse período tão difícil em minha vida.

Agradeço as parcerias formadas com o Engenho São Paulo e o GGC do campus de Areia. Parcerias determinantes para o sucesso dessa pesquisa.

Agradeço as minhas filhotas Jojô e Murphy por terem me acompanhado em todas as madrugadas de estudos cansativos. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa jornada, meus sinceros agradecimentos.

•

‘Ninguém alguma vez escreveu ou pintou, esculpiu,
modelou, construiu ou inventou senão para sair do inferno.’

Antonin Artaud.

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema com baixo custo para captura de imagens aéreas e detecção de anomalias em tempo real. Um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) de asa fixa totalmente autônomo foi desenvolvido para o sobrevoo nas plantações. Como validação do sistema, dois estudos de caso são apresentados. Os dois acontecem em plantações de cana-de-açúcar próximos ao litoral paraibano. Sendo o primeiro em um engenho que produz cachaça de alambique e o segundo em uma plantação em ambiente controlado. O IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é utilizado como apoio na detecção das anomalias. Além do vigor do plantio, elementos como insuficiência hídrica e solo exposto, foram identificadas pelo sistema. Foi constatado que é possível detectar regiões de interesse durante o voo, e além disso pode-se ter uma previsão sobre a produtividade da plantação com base no IVDN.

Palavras-chave: IVDN, VANT, agricultura, detecção de anomalias, processamento de imagens.

Abstract

This work presents a low-cost system for aerial image capture and anomaly detection in real time. A fully autonomous fixed-wing UAV (Unnamed Aerial Vehicle) was developed for overflying the plantations. As system validation, two case studies are presented. Both happen in sugar cane plantations near the coast of Brazilian state of Paraíba. The first is a mill producer of distilled cachaça and the second is a controlled environment plantation. The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) support the anomaly detection. In addition to planting vigor, water insufficiency and exposed soil were identified by the system. It was found that it is possible to detect regions of interest during flight, and based on the NDVI to predict planting productivity.

Keywords: NDVI, UAV, agriculture, anomaly detection, image processing.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo Geral	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Contribuições	3
1.4	Estrutura da Dissertação	3
2	Fundamentação Teórica	4
2.1	Veículos Aéreos Não Tripulados	4
2.1.1	Principais Componentes de um VANT	6
2.1.2	Controle de Voo	7
2.2	Agricultura de Precisão	9
2.2.1	Índice Normalizado de Vegetação	11
2.2.2	Processo Fotossintetizante	11
2.3	Considerações Finais	13
3	Trabalhos Relacionados	14
3.1	Aplicação de VANTs na Agricultura Tendo como Base o IVDN para Análise da Plantação	14
3.2	Considerações Finais	15
4	Materiais e Métodos	16
4.1	Arquitetura Geral do Sistema	16
4.1.1	Hardware: Controle de Voo, Captura e Análise das Imagens	17

4.1.2	Software: Trajetória Automática, Captura e Análise das Imagens . . .	18
4.1.3	Relatório Sobre o Monitoramento da Plantação	20
4.2	Considerações Finais	21
5	Estudos de Caso	22
5.1	Estudo de Caso 1: Engenho de Cana-de-Açúcar para Cachaça de Alambique	22
5.1.1	Descrição do Cenário	22
5.1.2	Plano de voo	23
5.1.3	Resultados	23
5.1.4	Discussão	26
5.2	Estudo de Caso 2: Plantação Controlada	26
5.2.1	Descrição do Cenário	26
5.2.2	Plano de voo	27
5.2.3	Resultados	27
5.2.4	Discussão	30
6	Conclusão	32
	Referências Bibliográficas	36

Lista de Símbolos

VANT : *Veículo Aéreo Não Tripulado*

VTOL : *Vertical Take-Off and Landing*

ESC : *Electronic Speed Controller*

SGNS : *Sistemas Globais de Navegação por Satélite*

GPS : *global positioning system*

SNI : *Sistemas de Navegação Inercial*

APM : *Ardupilot Mega*

SIG : *Sistema de Informação Geográfica*

IAF : *Índice de Área Foliar*

IRS : *Índice de Razão Simples*

IVDN : *Índices de Vegetação da Diferença Normalizada*

SAVI : *Índice de Vegetação Ajustada para o Solo*

NIR : *Near Infrared*

ILV : *índice de luz visível*

RGB : *Red, Green and Blue*

NGB : *Near Infrared, Green and Blue*

ICE : *Image Composite Editor*

ha : *Hectare*

GGC : *Grupo de Grandes Culturas*

UFPB : *Universidade Federal da Paraíba*

THC : *Tonelada de Cana-de-açúcar por Hectare*

pH : *Potencial do Hidrônio*

Lista de Figuras

2.1	Esboço de alguns modelos de VANTs do tipo asa fixa.	5
2.2	Esboço de alguns modelos de VANTs do tipo asa giratória.	5
2.3	Esboço de um VANT do tipo VTOL.	6
2.4	Componentes que constituem um VANT.	6
2.5	Esboço das ligações entre os componentes de um VANT de asa fixa.	7
2.6	Trecho do Bairro Mangabeira. Fonte: Autor	8
2.7	Centro de Informática. Fonte: Autor	9
2.8	Coqueiral com deficiência de nutrientes. Fonte: Autor	10
2.9	Absorção do espectro visível da luz. Fonte: site biogeolearning.com	12
4.1	VANT para sobrevoos em áreas de até 150 ha (a), VANT para sobrevoos em áreas de até 150 ha (b) e VANT para sobrevoos em áreas maiores que 300 ha (c).	17
4.2	Compartimento interno do VANT.	17
4.3	Câmera Noir com filtro.	18
4.4	Tela do Mission Planner para construção de trajeto.	19
4.5	Arquiterua geral da Aplicação.	19
4.6	Fluxograma do algoritmo de captura e detecção.	20
5.1	Trajetória descrita no Mission Planner	23
5.2	Fotos capturadas durante o voo	24
5.3	Região do engenho monitorada	25
5.4	Mosaico em Infravermelho com IVDN	25
5.5	Histograma dos valores obtidos pelo cálculo do NDVI	26
5.6	Trajetória descrita no Mission Planner	27

5.7	Demarcação feita em solo	28
5.8	Esboço da área monitorada	28
5.9	Mosaico em infravermelho	29
5.10	Mosaico em infravermelho com IVDN	30

Lista de Tabelas

5.1	Tempo de processamento	24
5.2	TCH e IVDN por região	29
5.3	TCH e IVDN geral	30

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo serão apresentados: a relevância do estudo em questão, o objetivo geral e os específicos, as contribuições e, ao final, a estrutura do trabalho.

1.1 Contextualização

Existe uma preocupação sobre a geração de alimentos no planeta (MOUSAZADEH, 2013). Estima-se que em 2050 a produção de mantimentos deverá ser, em média, 70% maior do que o produzido atualmente (VASUDEVAN; KUMAR; BHUVANESWARI, 2016). Com recursos naturais limitados, prover esses alimentos torna-se um desafio que requer eficiência na agricultura (LEE et al., 2010). Uma saída para esse problema seria a adoção de sistemas inteligentes computacionais que auxiliam os produtores no monitoramento da saúde do plantio, colheita, irrigação, entre outras tarefas. Esses sistemas fazem a detecção do problema de forma prematura e automática, otimizando os ganhos na colheita. Sistemas baseados em visão computacional vêm sendo desenvolvidos com o intuito de solucionar problemas que envolvem diversas áreas, como: reconhecimento de padrões (SHET et al., 2011), monitoramento remoto (STOKKELAND; KLAUSEN; JOHANSEN, 2015), sistemas de navegação (MORRIS; BARNARD, 2008) etc. Essas tecnologias estão sendo amplamente explorada na agricultura de precisão, (MALDONADO; BARBOSA, 2016) (STORY et al., 2010), com o objetivo de detectar falhas na plantação, ervas daninhas, pragas, problemas climáticos e insuficiência de nutriente, que são fatores determinantes quando se trata de produtividade (GÉE et al., 2008) (TELLAECHE et al., 2008). Dados significativos podem ser extraídos

de imagens capturadas em plantações, e a partir desses dados decisões como, aplicações de fertilizantes e irrigação podem ser tomadas quantificando e qualificando a colheita.

Aliada aos sistemas computacionais, a robótica também vem sendo utilizada em áreas agrícolas. Veículos Aéreos Não tripulados (VANTs) estão auxiliando o monitoramento de plantações, (COLOMINA; MOLINA, 2014), esses veículos automatizam tarefas que normalmente necessitam de muitas horas de trabalho e extensa mão de obra (YU et al., 2013). Visão computacional e VANTs trabalham em cooperação detectando em tempo hábil problemas que podem prejudicar totalmente a colheita. Porém existem obstáculos como custo e complexidade, que impedem a adoção desses sistemas (ZHANG; LI, 2014). Eles custam em torno de 125 mil dólares (EBEE, 2017), impossibilitando sua aplicação em campos agrícolas de médio e pequeno porte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma solução para detecção automática de anomalias em plantações, como ervas daninhas, escassez de água e insuficiência nutricional, através da análise em tempo de voo, de imagens aéreas capturadas por um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) de baixo custo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral os seguintes objetivos específicos foram elencados:

1. Identificar técnicas computacionais para detecção de anomalias em plantações que podem ser implementadas em sistemas embarcados;
2. Desenvolver um VANT com baixo custo com tecnologia embarcada capaz de analisar imagens em tempo de voo;
3. Desenvolver um sistema que detecte anomalias em plantações durante o voo e que funcione no sistema embarcado do VANT;

4. Desenvolver um sistema que gere um relatório que apresente as anomalias detectadas em imagens georeferenciadas.
5. Identificar a aceitação da solução por meio de dois estudos de caso, conduzido no litoral da Paraíba.

1.3 Contribuições

1. Este trabalho apresenta duas contribuições principais:
 - (a) Um VANT de asa fixa com baixo custo com um sistema computacional embarcado.
 - (b) Um software para detecção de anomalias em tempo real com geolocalização em plantações.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o capítulo 1 apresenta os objetivos geral e específicos, as contribuições e a relevância do trabalho. Nos capítulos 2 e 3 a fundamentação teórica e trabalhos relacionados. E nos capítulos 4 e 5 a metodologia utilizada e os resultados e discussões. Em seguida considerações finais e referências bibliográficas.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados conceitos que foram utilizados durante a construção do sistema.

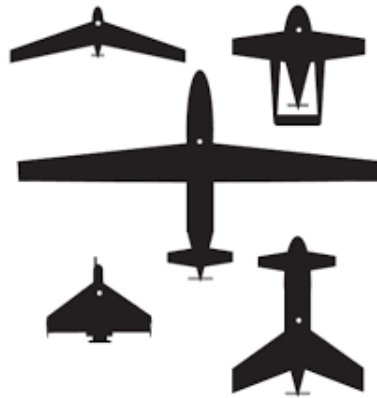
2.1 Veículos Aéreos Não Tripulados

O termo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é usado para identificar uma aeronave que não necessita de tripulação para voar. Essa tecnologia é projetada para diferentes propósitos, que vão desde o recreativo até o de atuar em situações perigosas em locais hostis e de acesso impróprio para humanos (PAJARES, 2015).

Com a difusão dos VANTs, são muitas as variações de modelos fabricados atualmente. De maneira simples podem ser divididos em dois grupos (GIM, 2014): os de asa fixa, onde se encaixa o modelo apresentado nesse trabalho, fig. 2.1, e os multirotores que podem ser tricópteros, quadricópteros, hexacópteros etc (COLOMINA; MOLINA, 2014) fig. 2.2. Esse trabalho adotou o uso de um VANT de asa fixa por se tratar de um modelo mais econômico do ponto de vista financeiro e principalmente do ponto de vista energético. Visto que o foco aqui é o monitoramento de plantações extensas, então um modelo mais leve (mesmo transportando múltiplos sensores) naturalmente possui uma maior capacidade de sobrevoo.

Como pode ser visto na fig. 2.1 os modelos de asa fixa geralmente são constituídos por apenas um motor e um par de asas. Porém, podem chegar a dois motores e dois pares de asas. Esse modelo utiliza o erguimento de suas asas em conjunto com o vento proporcionando um baixo consumo de energia, mantendo o VANT por mais tempo no ar.

Figura 2.1: Esboço de alguns modelos de VANTs do tipo asa fixa.



Os multirotores são compostos por dois ou mais motores e não apresentam nenhum par de asas. Além disso, alguns modelos podem possuir proteção para suas hélices. Essa proteção serve tanto para o usuário como para o próprio VANT e ambiente em que se encontra.

Figura 2.2: Esboço de alguns modelos de VANTs do tipo asa giratória.



Existe ainda um modelo híbrido que combina as vantagens de ambos os modelos apresentados anteriormente. Trata-se de um VANT de asa fixa, classificado como VTOL (Vertical Take-Off and Landing), ver fig. 2.3. Esse modelo possui no mínimo três motores que proporcionam a decolagem vertical, mas quando em voo é impulsionado por apenas um motor de maneira horizontal. Logo são ideais em situações com espaços restritos e que necessitam de um elevado tempo de voo (KLUG, 2015).

Figura 2.3: Esboço de um VANT do tipo VTOL.



2.1.1 Principais Componentes de um VANT

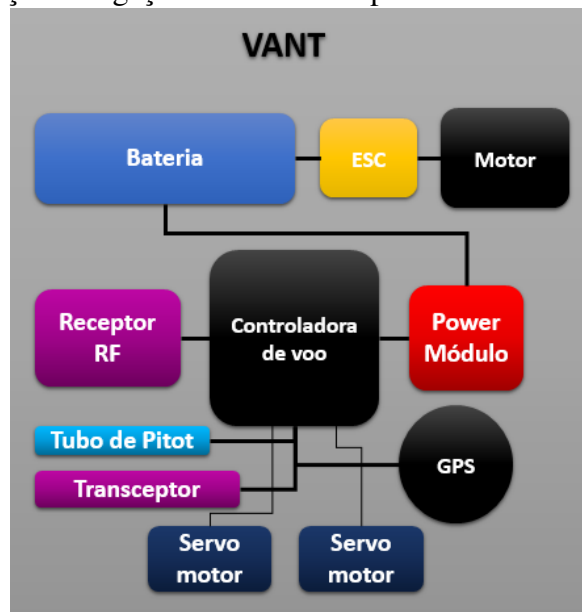
Para cada aplicação existe uma forma correta de desenvolver um VANT. São muitos os sensores e atuadores que auxiliam na composição ideal. O tamanho do frame, o empuxo do motor, o tipo da hélice, a capacidade do ESC (Electronic Speed Controller) e o tipo de bateria são elementos que devem ser escolhidos a partir da carga útil (câmeras, pulverizadores, armamento, entre outros) que o VANT deverá transportar (DEMOLINARI, 2016). Além disso a maioria dos VANTs podem ser pilotados automaticamente, por meio de controladoras de voo e tecnologias de navegação como: Sistemas Globais de Navegação por Satélite (SGNS) (como Por exemplo, GPS) e Sistemas de Navegação Inercial (SNI) (VALAVANIS; VACHTSEVANOS, 2014). A Figura 2.4 apresenta de forma agrupada os componentes que constituem um VANT autônomo. Os componentes em azul claro são dispensáveis em alguns casos. Eles são usados em aplicações que necessitam de imagens estáveis, como na fotogrametria.

Figura 2.4: Componentes que constituem um VANT.



A Figura 2.5 apresenta o esboço das ligações físicas entre os componentes de um VANT de asa fixa. Os servos motores são responsáveis por direcionar a nave de acordo com a controladora de voo. O tubo de Pitot mede a velocidade do vento auxiliando no pouso automático. O ESC controla a rotação do motor tornando o VANT mais ou menos veloz. O GPS captura a posição atual do VANT com base nos satélites. O Transceptor permite a transmissão da leitura dos sensores em tempo real, auxiliando o monitoramento do VANT durante o voo.

Figura 2.5: Esboço das ligações entre os componentes de um VANT de asa fixa.



2.1.2 Controle de Voo

Como foi descrito anteriormente, são diversos os sensores e atuadores contidos em um VANT. Cada qual com um propósito específico. Porém, em se tratando de autonomia, o principal componente é a controladora de voo. Existem muitos modelos de controladoras sendo fabricados atualmente: Naza (DJI, 2019), Tarot (TAROT, 2014), Multiwii (MULTIWII, 2015), KKMulticopter (KKMULTICOPTER, 2019), APM (Ardupilot Mega) (ARDUPILOT.ORG, 2015), entre outras. Para esse trabalho foi utilizada a APM. O motivo da escolha foi por ser uma controladora de código aberto, com ampla documentação e baixo custo.

A Ardupilot é uma plataforma, composta pela APM, para controle de modelos aéreos

e terrestres, com base na plataforma Arduino (ARDUPILOT.ORG, 2015). Possui software e hardware livre com capacidade de executar trajetos autônomos. Com essa ferramenta é possível criar uma solução com controle e gestão de voo que utiliza sensores de estabilização, posicionamento, navegação e plataformas de comunicação sem fio.

O Mission Planner é uma aplicação que faz parte do projeto Ardupilot e foi desenvolvida para cooperar com a APM (ARDUPILOT.ORG, 2016). Ele é responsável por programar todas as coordenadas as quais o VANT deve percorrer durante o voo, e também monitorar as suas condições (corrente, tensão, posição, entre outros).

Um VANT autônomo é capaz de efetuar diversas atividades com precisão e eficiência, sem o desperdício de tempo e mão de obra especializada. Aplicações que envolvem mapeamento terrestre, fotogrametria, busca específicas em áreas extensas, entre outras, podem ser realizadas por um VANT com agilidade, sem necessitar de um helicóptero, por exemplo, o que elevaria o custo consideravelmente.

Com o auxílio da controladora de voo e GPS, e desde que o VANT esteja munido de uma câmera fotográfica, é possível traçar uma trajetória para que um mosaico (composição de imagens) seja gerado ao final do trajeto. As Figuras 2.6 e 2.7 são exemplos de tarefas que podem ser minimizadas através dessas tecnologias. Na primeira figura o objetivo foi buscar ligações clandestinas de energia elétrica, e na segunda o intuito foi delimitar espaços construídos (mosaicos gerados a partir de imagens capturadas pelo sistema desenvolvido nesse trabalho).

Figura 2.6: Trecho do Bairro Mangabeira. Fonte: Autor



Figura 2.7: Centro de Informática. Fonte: Autor



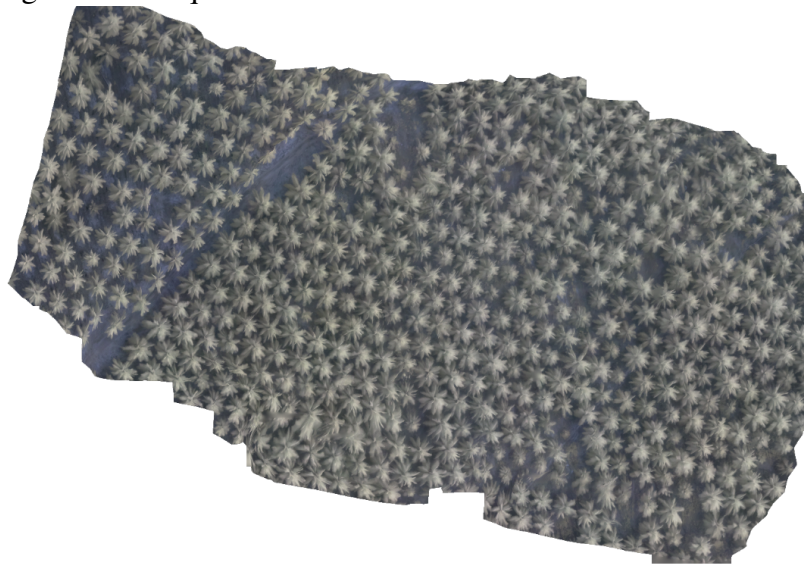
2.2 Agricultura de Precisão

O termo "agricultura de precisão" está diretamente ligado ao gerenciamento dos variados problemas que acarretam as lavouras durante o seu cultivo. De maneira mais formal um conceito adotado pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, (MACHADO et al., 2018), seria: a aplicação de um conjunto de ferramentas e tecnologias que possibilitam o gerenciamento agrícola com base nas diversidades de espaço e tempo da região monitorada, visando um aumento no retorno financeiro e minimizando o impacto ambiental (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

A aplicação de VANTs para o monitoramento de grandes áreas agrícolas, contempla o conceito sobre Agricultura de Precisão apresentado, já que o mesmo está ligada a utilização de sistemas e equipamento tecnológicos no acompanhamento de um território previamente delimitado (CERBARO et al., 2015). Esse gerenciamento, baseado no uso de tecnologias, agiliza o processo produtivo quando atua diretamente em fatores de produção como: aplicação de sementes, fertilizantes, reguladores de crescimento, irrigação, etc (COELHO et al.,

2004). A Figura 2.8 expõe um exemplo real de uma área que apresenta uma anomália na copa de algumas plantas. O uso de VANTs, nesse caso, pode trazer vários benefícios como por exemplo: corrigir áreas específicas atingindo apenas as plantas danificadas, sem desperdício de agrotóxicos ou fertilizantes.

Figura 2.8: Coqueiral com deficiência de nutrientes. Fonte: Autor



Para esse tipo de problema, além de VANTs, outras tecnologias também podem ser empregadas, como sistemas de posicionamento a partir de satélites (GPS - Global Positioning System), Sistema de Informação Geográfica (SIG), e ainda outros sensores (ABDULLAHI; MAHIEDDINE; SHERIFF, 2015).

O emprego de VANTs na agricultura de precisão apresenta diversas vantagens em relação aos sistemas tradicionais como imagens geradas por satélites ou voos tripulados. Como exemplo as seguintes vantagens podem ser citadas: imagens com alta resolução e frequência de captura em tempo real, auxílio no monitoramento de áreas cultivadas, acompanhamento de safras, identificação de pragas e falhas na lavoura, redução de custos (quando comparado aos voos tripulados) etc. Além disso, imagens capturadas por VANTs não apresentam problemas com a sobreposição de nuvens quando comparado com imagens fornecidas por satélite (VEGA et al., 2015). Porém, ainda é considerado uma tecnologia de difícil controle, necessitando de operadores especializados, inclusive no processamento e interpretação das imagens (ZHANG; LI, 2014).

2.2.1 Índice Normalizado de Vegetação

Um dos procedimentos utilizadas na agricultura de precisão é a análise de imagens aéreas constituídas por diversas bandas espectrais, permitindo a aplicação de técnicas bem consolidadas na literatura (LEITE; SANTOS; SANTOS, 2017). Tais como Índice de Área Foliar IAF, Índice de Razão Simples (IRS), Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e Índice de Vegetação Ajustada para o Solo (SAVI) que é uma variação do IVDN (COUTINHO et al., 2016) (LEDA et al., 2016).

O IVDN desempenha um papel importante no monitoramento da vegetação, e tem sido usado para analisar períodos de seca (COVELE, 2011), para estimar a cobertura vegetativa (BORATTO I. M. DE P.; GOMIDE, 2013), para prever rendimentos de safra (HUANG et al., 2014), e controle de produtividade da palha da cana-de-açúcar (DUFT, 2013). Além disso, ele deriva os outros índices citados anteriormente (LIU, 2017). Existem muitos outros índices que podem ser usados, porém seria necessário um sensor com grande resolução espectral, cobrindo uma ampla faixa do espectro separado por bandas (POLIDORIO; IMAI; TOMMASELLI, 2004), isso elevaria expressivamente os custos do sistema. Com base nessas informações, esta pesquisa escolheu o IVDN para utilizar como parâmetro na análise das plantações por se tratar de um índice que caracteriza bem a biomassa, necessitando apenas de uma banda visível e do infravermelho próximo (OLIVEIRA, 2015).

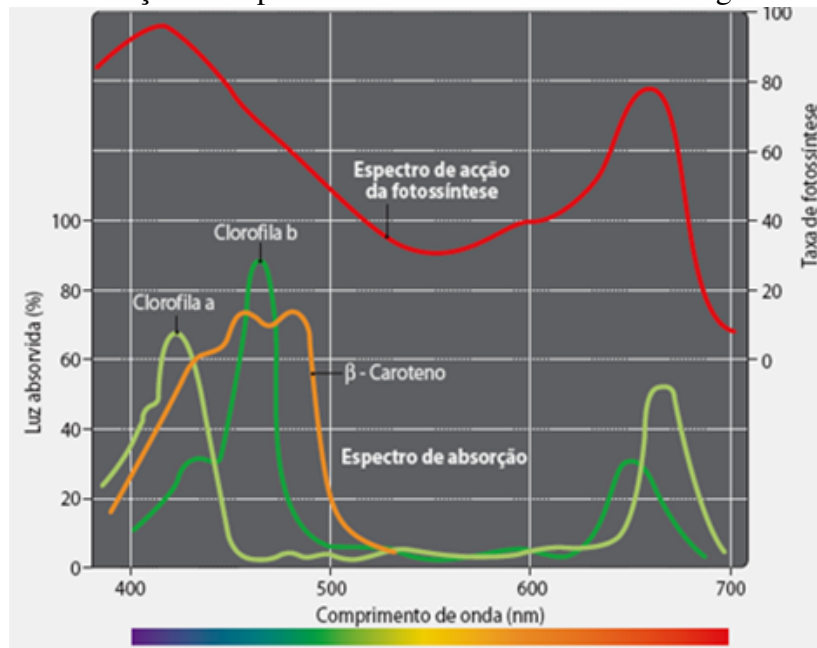
2.2.2 Processo Fotossintetizante

Para melhor compreender os resultados obtidos pelo IVDN faz-se necessário um estudo breve sobre o processo fotossintetizante e incidência de raios solares na superfície. São três as componentes resultantes do fracionamento da radiação solar que interagem com as plantas, isto é reflexão, absorção e transmissão. Do ponto de vista fisiológico e bioquímico, tratando-se da produtividade da planta, a absorção é tido como o componente mais importante. Vale salientar que os principais elementos que favorecem a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são: pigmentos, quantidade de água e estrutura celular (OLIVEIRA, 2015).

No infravermelho próximo (NIR - Near Infrared) à reflexão, transmissão e absorção são dominados pelas propriedades ópticas da folha, que dependem das estruturas celulares in-

ternas denominadas de mesófilo. Essas estruturas possuem células com vacúolo e paredes hidratadas onde aumentam a reflexão propiciando melhor absorção da radiação pelos pigmentos (MOREIRA, 2005). De maneira simplista, durante o processo fotossintetizante, os pigmentos clorofilas absorvem energia para realizarem a fotossíntese. Elas possuem picos equiparados de absorção de luz na faixa do espectro vermelho e azul. Essa luz é convertida em energia durante o processo fotossintético, sendo assim os pigmentos das folhas são tratados na região do visível. Por exemplo, a maioria das folhas são verdes, por terem maior refletividade nessa faixa do espectro da luz, enquanto isso nas faixas vermelha e azul há uma grande absorção de energia (RAVEN et al., 1978) (NELSON; COX, 2002). A Figura 2.9 relaciona o espectro de absorção dos pigmentos com o espectro de ação da fotossíntese. Sendo assim a capacidade de absorção de radiação dos pigmentos é diretamente proporcional a taxa fotossintética.

Figura 2.9: Absorção do espectro visível da luz. Fonte: site biogeolearning.com



O infravermelho próximo reflete a estrutura celular das plantas. O IVDN aplica esses fatores levando em consideração a energia absorvida e a refletida na região que demonstra as condições estruturais da célula (LIU, 2017). Os valores obtidos pelo cálculo do IVDN concentram-se entre [-1,1] e são usados para quantificar o vigor da vegetação. Assim, quanto maior o valor retornado pelo índice, mais vigorosa estará a planta (GUERRERO; HINOJOSA-CORONA; KRETZSCHMAR, 2016). A fórmula para o cálculo desse índice,

(JOSÉ et al., 2014), é descrita na equação 2.1. O IVDN é calculado para cada pixel da imagem, onde o ILV (índice de luz visível) representa o espectro visível da luz absorvido no momento da fotossíntese e compreende um valor entre [-1,1] e o NIR (Near Infrared) a intensidade do infravermelho próximo naquele pixel, também compreendendo um valor entre [-1,1].

$$IVDN = \frac{NIR - ILV}{NIR + ILV} \quad (2.1)$$

2.3 Considerações Finais

Como o objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de captura e detecção de anomalias com baixo custo, a análise de imagens infravermelhas capturadas por VANTs é mais acessível do que imagens adquiridas por satélite, por exemplo. Além disso, a análise do IVDN é factível apenas com duas bandas espectrais, dispensando sensores mais complexos e com alto custo.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Aplicação de VANTs na Agricultura Tendo como Base o IVDN para Análise da Plantação

Diversos trabalhos aplicam veículos aéreos não tripulados como apoio à agricultura de precisão. A maioria deles utilizam equipamentos de alto custo. Mesmo sistemas como os apresentados em (GHAZAL; KHALIL; HAJDIAB, 2015), (VELASQUEZ; ARGUETA; MAZARIEGOS, 2016), necessitam de equipamentos de custo elevado como é o caso do primeiro trabalho que utiliza um multirrotor e uma Gopro Black customizada para a captura de vídeos. Esse trabalho gera mosaicos a partir desses vídeos e em seguida aplica o IVDN para estimativa da quantidade de vegetação. O segundo trabalho utiliza uma webcam customizada para a captura das imagens, mas não descreve o valor gasto na construção do multirrotor, enumerando apenas os valores dos sensores usados. Ambas as soluções utilizam o IVDN apenas para quantificar o vigor da plantação.

Os trabalhos (CALDERÓN et al., 2013), (ZHAO et al., 2016) utilizam sistemas que podem ser encontrados no mercado e que são classificados como de baixo custo, no entanto os dispositivos de captura estão duplicados. No primeiro, duas câmeras, RGB e NGB (Near infrared red, Green e Blue), são utilizadas na captura das imagens, já no segundo dois VANTs de asa fixa são empregadas com a justificativa de maior cobertura de área. Ambos calculam o IVDN para detecção precoce de anomalias. Os trabalhos de (ZHENG et al., 2016) (BENDIG et al., 2015) estabelecem relação entre o IVDN e o desenvolvimento da plantação

e concentração de nitrogênio, respectivamente. Ambos utilizam multirotores de baixo custo para a captura das imagens e câmera IR.

O trabalho de (GAGO et al., 2015) apresenta alguns sistemas com baixo custo e explica que mesmo com tantas modelos existentes ainda se trata de algo complexo para manuseio. Vale salientar que pesquisas estão sendo desenvolvidos com o intuito de tornar essa tecnologia disponíveis para todos os tipos de usuários finais, como é o caso do sistema utilizado nos trabalhos de (ROMERO-TRIGUEROS et al., 2017) (CHAVES; SCALEA, 2015). Contudo trata-se de um sistema de alto custo, impossibilitando beneficiar produtores agrícolas de pequeno e médio porte. As duas pesquisas, especialmente a segunda, apresentam uma sequencia de passos para o processamento das imagens bem parecida com o proposto no presente trabalho, utilizando inclusive o IVDN para quantificar solo exposto, biomassa e estrutura das plantas. Mas diferentemente do que está sendo proposto aqui, é utilizado software protegido por licença e o processamento das imagens não é feito em tempo real.

3.2 Considerações Finais

Os resultados de todos trabalhos apresentados demonstram que é possível correlacionar o IVDN com vários aspectos da vegetação. Dessa forma fica claro perceber que o emprego do IVDN é uma maneira simples para obtenção de dados significativos no reconhecimento de ervas daninhas, escassez hídrica, insuficiência nutricional etc. Além de ser algo que requer baixo custo computacional. Tendo como base todas essas informações, a construção de um sistema com baixo custo que analisa e classifica imagens em tempo real é factível.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Neste Capítulo serão apresentados todas as etapas seguidas para a construção do sistema de captura e análise. O sistema foi desenvolvido em duas etapas que consistiu: um VANT para a captura das imagens e uma aplicação, que foi embarcada no VANT, para a análise das imagens em tempo real.

4.1 Arquitetura Geral do Sistema

Foi desenvolvido um VANT com baixo custo para a captura das imagens. Aerodinâmica, peso, material utilizado e centro de gravidade, foram alguns requisitos levados em consideração na construção do VANT. A escolha apropriada desses itens refletiu nos resultados obtidos na captura das imagens e no tempo máximo de voo. Além disso o modelo escolhido contribuiu para a estabilidade do voo, proporcionando condições satisfatórias para fotos de boa qualidade.

Observou-se através de testes empíricos que o modelo de asa fixa permite uma maior autonomia energética, ideal para voos de longas distâncias. Além de ser de baixo custo, pois pode ser contruída com poliestireno. A Figura 4.1 apresenta os VANTs que foram construídos para compor o sistema.

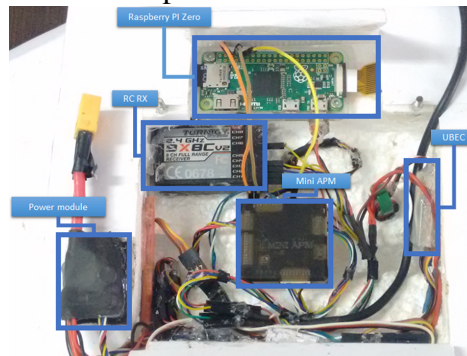
Figura 4.1: VANT para sobrevoos em áreas de até 150 ha (a), VANT para sobrevoos em áreas de até 150 ha (b) e VANT para sobrevoos em áreas maiores que 300 ha (c).



4.1.1 Hardware: Controle de Voo, Captura e Análise das Imagens

Para o controle automático do voo e a estabilidade do VANT, foi utilizado a Ardupilot Mega (APM) Mini, que é a versão reduzida da APM Mega. Essa controladora permite a construção de um sistema expansível, configurável, modular e de baixo custo. Contemplando um dos propósitos desse trabalho. A Figura 4.2 apresenta o compartimento interno superior do VANT. Nesse compartimento foram acoplados os principais componentes do sistema.

Figura 4.2: Compartimento interno do VANT.



A Raspberry PI Zero foi um componente essencial para a aplicação embarcada. Essa placa de desenvolvimento é constituída por 512MB de RAM e CPU 1GHz de núcleo único. A Raspberry PI foi escolhida devido ao seu baixíssimo custo de apenas 5 dólares, além de

suas múltiplas funcionalidades, por se tratar de um mini computador.

Uma câmera digital PiNoiR com resolução de imagem de 8 megapixels, com foco fixo e um sensor de imagem CMOS foi acoplado na Raspberry. Essa câmera forneceu as bandas espectrais NGB (Near infrared, Green e Blue) que permitiu a análise sobre a vegetação. Em aplicações de baixo custo é comum a utilização de sensores com essa característica (CERBARO et al., 2015) (ZHAO et al., 2016). A Raspberry realizava a captura, processamento e detecção de anormalidades nas imagens, além de classificar as áreas de interesse, georreferenciando cada uma delas. As coordenadas geográficas são fornecidas pelos sensores da APM. Cada imagem capturada equivalia a um área do tamanho de um campo de futebol, dependendo da altitude do voo. Como pode ser visto na fig. 4.3 a câmera foi posicionada na parte inferior do VANT fazendo um ângulo de 90 graus com o solo durante as trajetórias. Um filtro especial azul foi utilizado com a câmera para acentuar a reflectância dos raios NIR.

Figura 4.3: Câmera Noir com filtro.



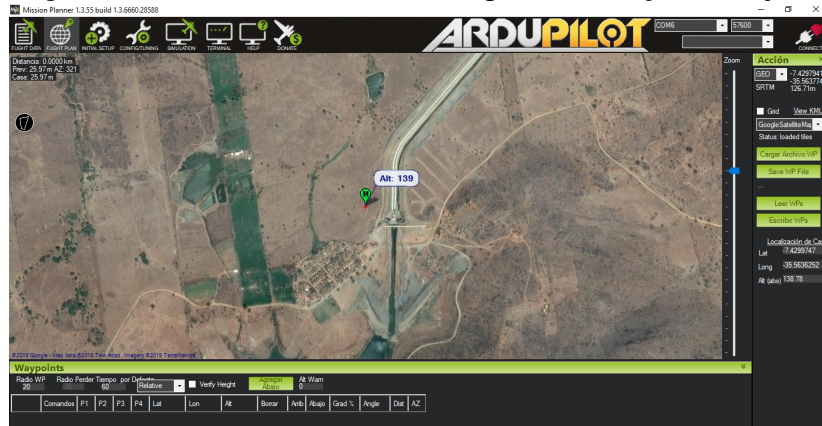
4.1.2 Software: Trajetória Automática, Captura e Análise das Imagens

O Mission Planner foi usado como estação base para determinar a trajetória automática de cada voo. Nele foram atribuídas as coordenadas percorridas pelo VANT. Também ficou responsável por monitorar as condições do VANT durante os voos. Possibilitando o inspecionamento de seus sensores como: corrente, tensão, posição em relação a estação base, velocidade do vento, etc, em tempo real. A Figura 4.4 apresenta a interface do Mission Planner onde são geradas as trajetórias de voo.

As imagens foram capturadas em pontos específicos da trajetória. Para que houvesse garantia da cobertura total da área monitorada, elementos como: distância focal, tamanho do sensor da câmera, velocidade do VANT e altitude, foram levados em consideração ao

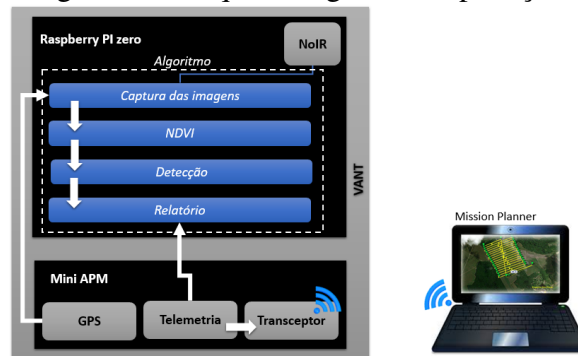
planejar cada trajetória.

Figura 4.4: Tela do Mission Planner para construção de trajeto.



A aplicação desenvolvida ficou responsável por capturar e georreferenciar as imagens, calcular o IVDN, classificar o vigor da vegetação e a criar um registro de dados do voo. Este registro é um arquivo onde são armazenadas todas as informações sobre o voo, bem como as coordenadas onde existe maior probabilidade de regiões com alguma insuficiência. Essa aplicação foi embarcada na Raspberry PI acoplada no VANT. A Figura 4.5 demonstra a arquitetura geral da aplicação desenvolvida.

Figura 4.5: Arquiterua geral da Aplicação.



Em cada imagem, o cálculo do IVDN foi aplicado, utilizando as bandas NIR e blue. Buscando estabelecer o limiar apropriado para cada plantação monitorada, um subgrupo de imagens contendo apenas elementos de interesse era utilizado como estimativa para classificar do vigor da vegetação. Esse limiar era definido de maneira empírica previamente em laboratório. Esta delimitação foi feita com o objetivo de minimizar classificações erradas, devido a diferentes assinaturas espectrais presentes na natureza.

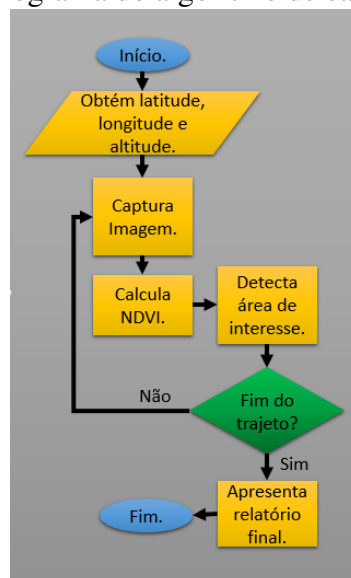
4.1.3 Relatório Sobre o Monitoramento da Plantação

Ao final de cada trajetória um relatório foi emitido como saída. Esse relatório apresenta as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de locais com maior probabilidade de serem encontradas anomalias. Para facilitar o entendimento dos agricultores, um mosaico foi gerado após cada voo. Dessa forma, se tinha uma visão ampla da região onde havia sido feito o sobrevoo.

Para a composição do mosaico, utilizou-se a ferramenta Image Composite Editor (ICE). Trata-se de um software livre criado pelo Microsoft Research Computational Photography Group para imagens conjuntas. Com essa aplicação, um conjunto de imagens de superfície podem ser usadas para formar um mosaico de alta resolução. Esta aplicação foi escolhida devido à sua simplicidade de uso e eficiência.

A detecção de cada área foi feita em tempo real. A Raspberry PI lia a latitude e longitude do módulo GPS acoplado a mini APM. Em seguida, capturava a imagem e calculava o IVDN. O cálculo resultava em uma matriz de pontos entre -1 e 1 (com o mesmo tamanho da imagem). Para a detecção de áreas possivelmente comprometidas um método recursivo de busca foi implementado. Esse método buscava, para cada imagem, uma faixa de valores previamente delimitada. Dependendo da quantidade de pontos encontrados na imagem, essa área era adicionada ao relatório final. A figura 4.6 apresenta um diagrama simplista do algoritmo descrito neste parágrafo.

Figura 4.6: Fluxograma do algoritmo de captura e detecção.



Uma outra aplicação foi desenvolvida com o intuito de facilitar ainda mais o entendimento dos agricultores. Essa aplicação pós processa o mosaico, colorindo toda a imagem e ascentua os pontos com baixo vigor. Além disso gera o histograma do IVDN de cada imagem. Sendo assim, além dos relatório final contendo latitude e longitude de cada região comprometida, o usuário final tem posse da área total monitorada e demarcada por um mapa de cores específico e também um gráfico bidimensional de simples interpretação.

4.2 Considerações Finais

O método adotado para esse trabalho leva em consideração a eficiência do VANT (consumo e estabilidade) bem como seu baixo custo. Além disso, o tempo consumido pela aplicação no processamento das imagens durante o voo, a quantificação e a qualificação das plantas fornecido pelo IVDN foram fundamentais para a concretização dos experimentos.

Capítulo 5

Estudos de Caso

Com o intuito de validar o sistema e de apresentar o seu funcionamento, foram realizados dois experimentos que serão descritos nesse capítulo.

5.1 Estudo de Caso 1: Engenho de Cana-de-Açúcar para Cachaça de Alambique

5.1.1 Descrição do Cenário

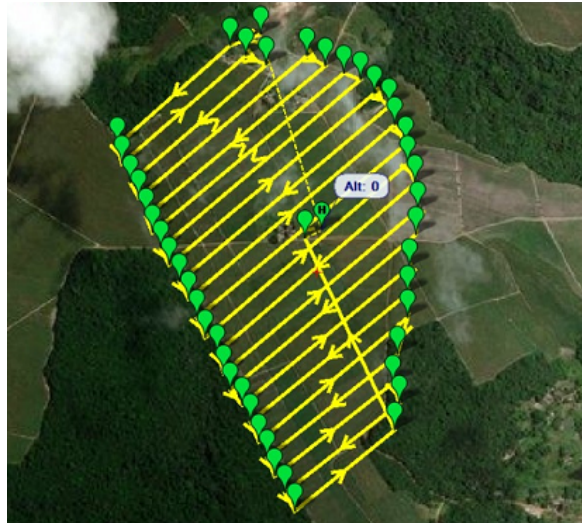
A área monitorada faz parte do município de Cruz do Espírito Santo, e está localizada a oeste de João Pessoa a uma distância de aproximadamente 29 km. A região possui terreno plano e cultiva apenas cana-de-açúcar, tendo uma área total de 60 ha (hectare).

Foram realizados 3 voos em um período de 90 dias, entre abril e junho de 2017. Esse período foi sugerido pelo agrônomo encarregado do engenho. Todos os voos foram efetuados no período da manhã com uma altitude de 120m. A altitude escolhida favoreceu na quantidade de área coberta por imagem, permitindo um voo mais curto. Cada voo demorou em média 22 minutos e capturou uma média de 740 fotografias. Entre as imagens existiu uma sobreposição de 60%, assegurando a construção do mosaico posteriormente.

5.1.2 Plano de voo

O plano de voo foi gerado no Mission Planner e foi o mesmo usado em todos os voos. A direção do trajeto foi escolhida de acordo com a direção do vento, minimizando o consumo de energia e favorecendo a estabilidade do voo. A Figura 5.1 apresenta o plano de voo construído. A altitude demarcada como zero é o local de decolagem do VANT (home point).

Figura 5.1: Trajetória descrita no Mission Planner



5.1.3 Resultados

Os resultados apresentados aqui serão baseados no último voo realizado, devido ao fato de ter sido o voo próximo a colheita. Sendo assim, trouxe respostas significativas.

A análise dos resultados leva em consideração o tempo consumido pelo sistema durante o processamento das imagens em voo, bem como a eficiência do VANT. A Tabela 5.1 exibe o tempo de processamento gasto pelo sistema de captura e detecção embarcado no VANT. Os dados gerados são: tempo total, média e desvio padrão. Um total de 796 imagens foram processadas. O desvio padrão demonstra que o tempo gasto por cada imagem durante o processamento foi semelhante, isso pode estar associado à constância da vegetação.

Os resultados demonstraram que cada imagem é processada em cerca de 1,7 segundos, o que é considerado suficiente para a aplicação proposta. Considerando que a área do sensor da câmera e a distância focal são, respectivamente, 3,76x2,74 mm, 3,6 mm, e que a uma altitude de 120 m, a área coberta do solo pela câmera é de 125x94 m, foi concluído que a

velocidade máxima que o UAV poderia chegar, de modo que não houvesse perda de imagens, seria 26 m/s ou 90 km/h.

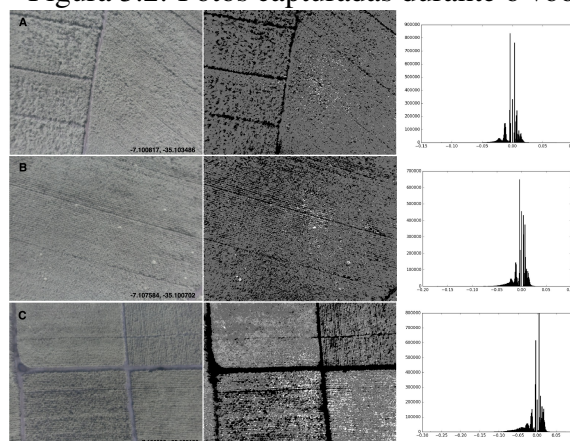
Tabela 5.1: Tempo de processamento

Imagens	796
Tempo total	1398,47 s
Média	1,75 s/imagem
Desvio padrão	0,18 s

Durante os experimentos, a velocidade alcançada pelo VANT variou entre 5m/s e 19m/s, mesmo em condições climáticas desfavoráveis o VANT manteve a velocidade prevista e realizou a missão com eficácia. Ao final de cada sobrevoo ainda existia carga na bateria. Além disso, o controle automático da APM e algumas características mecânicas do VANT, como a potência do motor e o tipo de hélice, auxiliaram na velocidade do VANT.

A Figura 5.2 apresenta algumas fotos capturadas durante o voo. Essas imagens demonstram algumas anomalias que estão sendo monitoradas. Na parte inferior das imagens estão latitude e longitude. A Figura 5.2-A apresenta uma área sem problemas aparentes. A Figura 5.2-B apresenta uma área com ervas daninhas que foram detectadas pelo IVDN (pequenas manchas brancas). A Figura 5.2-C mostra baixo vigor, além do solo exposto dentro do plantio, o seu histograma apresenta um comportamento diferente devido a esses problemas, com um intervalo entre -0,1 e 0,5.

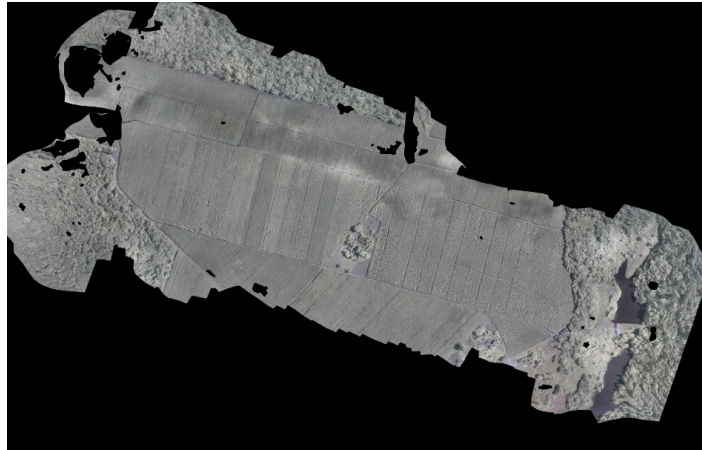
Figura 5.2: Fotos capturadas durante o voo



A Figura 5.3 mostra o mosaico gerado com as imagens capturadas durante o voo. As imagens são capturadas sem o filtro infravermelho, por isso essa coloração acinzentada. É

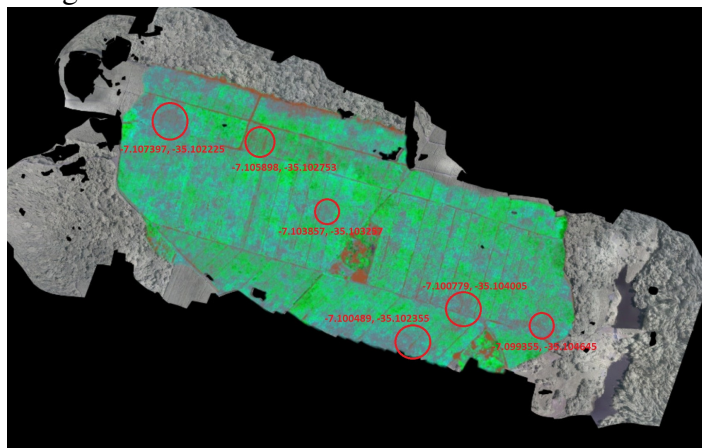
fato que o olho humano é incapaz de perceber diferenças em uma imagem como esta. Dessa maneira, foi preciso um pós processamento que inseriu um mapa de cores dando destaque as regiões com insuficiências.

Figura 5.3: Região do engenho monitorada



As regiões marcadas no mosaico da fig.5.4 refletem os resultados gerados pelo relatório final. São áreas que foram consideradas com baixo vigor e que devem ser visitadas pelo agrônomo encarregado. A cor azul possivelmente representam baixo vigor, escassez ou excesso de água ou de nutrientes e a cor verde claro representa uma vegetação diferente da cana-de-açúcar. As regiões foram delimitadas com um raio de 2 metros, que é a precisão oferecida pelo gps. Cada uma contendo sua latitude e longitude.

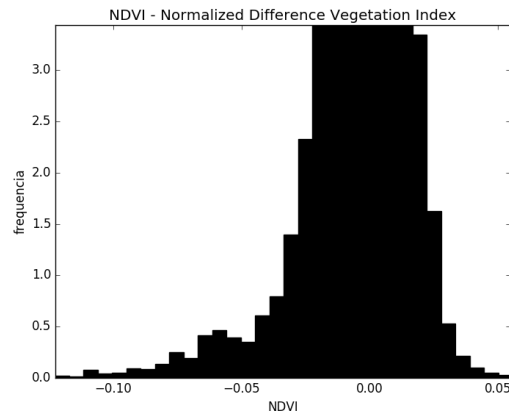
Figura 5.4: Mosaico em Infravermelho com IVDN



A Figura 5.5 apresenta a ampliação do histograma do intervalo do IVDN para melhor visualização. O intervalo se concentra entre $]-0,05; 0,05[$. A partir de testes empíricos

percebeu-se que a plantação considerada saudável, para esse experimento, estava na faixa entre $[0,028; 0,007]$ e que a de baixo vigor estava entre $[-0,028; -0,003]$. Qualquer elemento fora dessas faixas eram desconhecidos.

Figura 5.5: Histograma dos valores obtidos pelo cálculo do NDVI



5.1.4 Discussão

O mosaico demarcado foi apresentado ao agrônomo do engenho, ele efetuou a checagem em cada área delimitada. Foi concluído que algumas regiões apresentavam encharcamento devido ao período chuvoso e ao declive do terreno. Já em outras regiões foi observado escassez hídrica. O agrônomo explicou que algumas dessas regiões não recebem irrigação regularmente e mesmo com o período de chuva, a região não apresenta um declínio favorável. A idade da cana também foi um fator que explicou a exposição de solo em algumas regiões. Foi esclarecido que quando a cana-de açúcar está próxima da colheita, ela chega a sua altura máxima, ficando muito pesada ocasionando a curvatura da planta.

5.2 Estudo de Caso 2: Plantação Controlada

5.2.1 Descrição do Cenário

A área que foi monitorada faz parte do município de Areia, e está localizada a noroeste de João Pessoa a uma distância de 120 km, aproximadamente. A região possui uma área total de 3 ha de terreno levemente inclinado e cultiva cana-de-açúcar, entre outras gramíneas.

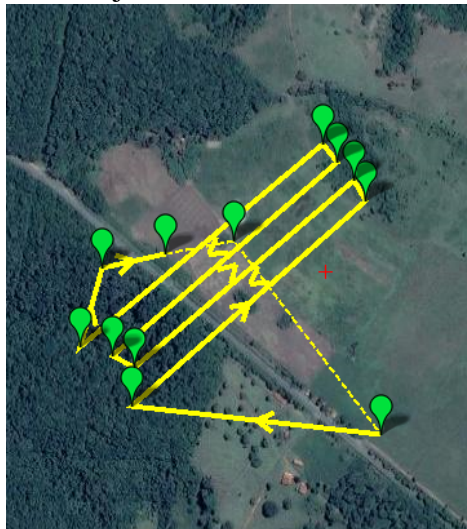
Trata-se de um ambiente controlado pelo Grupo de Grandes Culturas (GGC) do campus da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) de Areia.

Para esse experimento foi realizado 1 voo no dia 15 de junho de 2018. Período próximo a colheita. O voo foi efetuado no período da manhã, com uma altitude de 100m, com duração de aproximadamente 6 minutos. Foram capturadas cerca de 30 imagens úteis. Como no primeiro experimento, entre as imagens existiu uma sobreposição de 60%, assegurando a construção do mosaico posteriormente.

5.2.2 Plano de voo

Assim como no primeiro experimento o plano de voo também foi gerado no Mission Planner. O home point ficou um pouco afastado da área de monitoramento pois havia um plantação de arroz que precisava ser preservada. A Figura 5.6 apresenta o plano de voo construído para esse experimento.

Figura 5.6: Trajetória descrita no Mission Planner



5.2.3 Resultados

Os resultados apresentados aqui estão focados na correlação entre o IVDN e a produtividade da plantação. Os resultados obtidos pelo sistema foram confrontados com os resultados apresentados pelo GGC em relação a regiões que receberam e não receberam a aplicação de calcário. Um croqui da região foi gerado e a partir desse croqui foi feita uma demarcação em

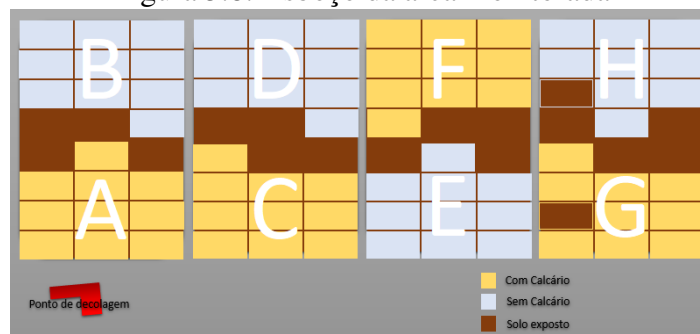
solo, garantindo o reconhecimento exato da posição de cada lote. A figura 5.7 demonstra essa demarcação em solo e a fig. 5.8 o esboço do croqui construído pelo GGC.

Figura 5.7: Demarcação feita em solo



Folhas no padrão A4, com numerações específicas, foram posicionadas em pontos estratégicos da plantação. Essa demarcação serviu como gatilho para correlação entre a área monitorada real e o croqui criado pelo GGC. Como se tratava de uma área controlada, relativamente pequena, com uma grande variedade de espécies e com lotes medindo apenas 5 metros de largura, essa demarcação foi fundamental para as análises posteriores.

Figura 5.8: Esboço da área monitorada



A figura 5.9 mostra o mosaico gerado com as imagens capturadas durante o voo. Como no experimento anterior, as imagens são capturadas sem o filtro infravermelho e passam pelo pós processamento recebendo um mapa de cores para destaque das regiões de interesse. O intuito maior desse experimento foi testar o algoritmo de detecção e o limiar encontrado para baixo e alto vigor da plantação. Isso foi necessário devido ao primeiro experimento não ter sido comparado com dados tangíveis, apenas com a expertise do agrônomo.

A Tabela 5.2 apresenta a média de tonelada de cana-de-açúcar por hectare (TCH) colhida e a média do IVDN de cada região. A região 'A' obteve equivalência entre a média de TCH e a média do IVDN, sendo as maiores alcançadas. As regiões 'D' e 'F' obtiveram praticamente as mesmas médias de TCH refletindo nas médias do IVDN. Esses resultados atenderam as

Figura 5.9: Mosaico em infravermelho

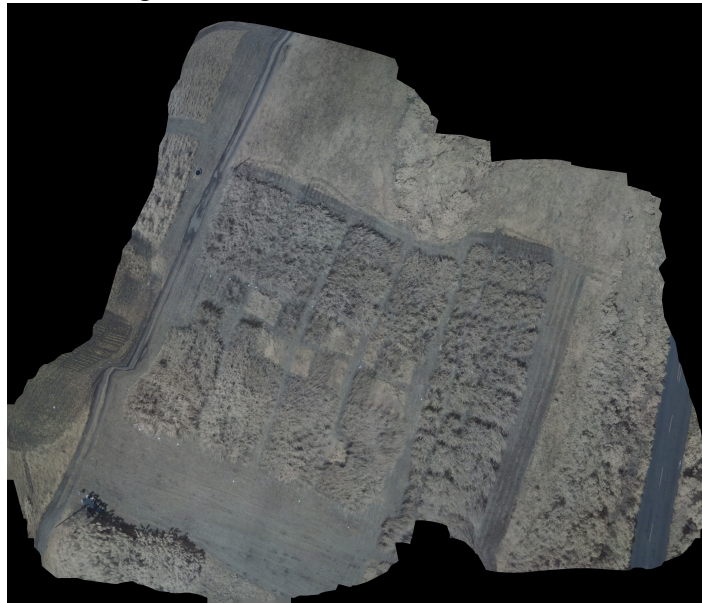


Tabela 5.2: TCH e IVDN por região

Região	Média da produtividade (TCH)	Média IVDN
A	86,665	0,022345558
B	51,895	0,005504095
C	66,83	0,014675089
D	68,85	0,001648532
E	49,7875	0,002691992
F	68,08	0,001654622
G	78	0,005012703
H	61,66	-0,0000582

expectativas do trabalho em questão. No entanto, as regiões 'E' e 'B' obtiveram as menores médias de TCH, porém, de maneira geral o IVDN não foi satisfatório. Outras regiões como a 'G' teve um TCH bem mais elevado com praticamente o mesmo índice das regiões 'E' e 'B'.

A Tabela 5.3 apresenta a média de TCH e IVDN levando em consideração o grupo que recebeu calcário e do grupo que não recebeu calcário. A média geral de TCH das regiões: 'A', 'C', 'F' e 'G', foi compatível com a média do IVDN. Sendo maior que a média das regiões: 'B', 'D', 'E' e 'H'. Isso já era esperado, pois o calcário, entre outros benefícios, corrigi o pH (Potencial do Hidrônio) do solo, favorecendo o crescimento da planta.

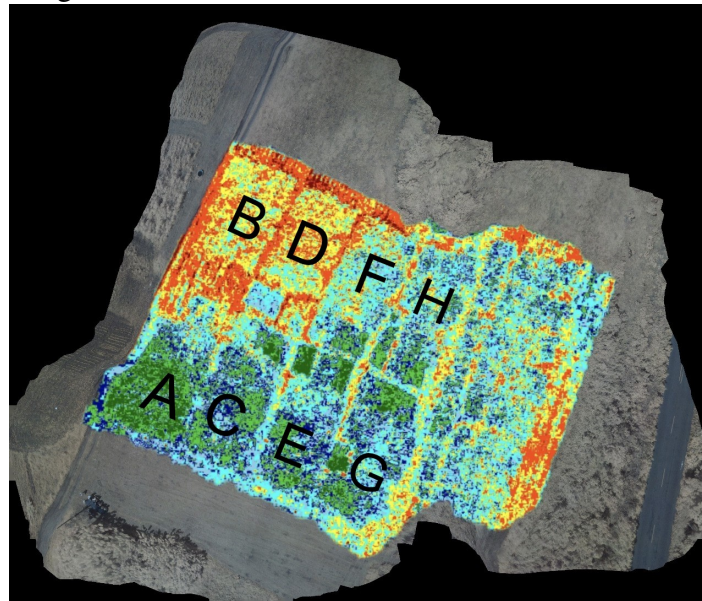
A Figura 5.10 apresenta o mosaico da plantação com o IVDN e o mapa de cores dando

Tabela 5.3: TCH e IVDN geral

Calcário	Média da produtividade (TCH)	Média IVDN
sim	77	0,0098439
não	57	0,00217026

destaque as regiões com alto e baixo vigor. Os tons alaranjados representam baixo vigor. As regiões 'B' e 'D' não receberam calcário e obtiveram uma média IVDN baixa. Os tons de azul podem estar indicando encharcamento, isso prejudica o desenvolvimento da planta. Os tons de verde indicam que a planta está vigorosa. A região 'A' e 'C' receberam tratamento por calcário e uma média IVDN elevada. Porém as regiões 'D' e 'H' mesmo obtendo IVDN baixo alcançaram uma média elevada em TCH, isso pode ter sido causado por fatores como, o tipo da cana-de-açúcar cultivada, por exemplo.

Figura 5.10: Mosaico em infravermelho com IVDN



5.2.4 Discussão

Esse experimento foi feito em conjunto com o experimento do GGC da UFPB de Areia. Variáveis como altura da planta, número de entre nós, número de calmo, entre outras, também foram coletados durante o experimento e podem ser levadas em consideração, aliadas ao IVDN, para uma estimativa mais precisa da produtividade. Além disso, não foi tido acesso a quantidade de sumo produzido por região, um confronto entre esses dados e o IVDN poderia

ser de grande valia para uma estimativa mais precisa. Nesse experimento existiram muitas espécies de cana-de-açúcar, isso pode ter sido a causa de alguns resultados irregulares, além disso não havia irrigação mecanizada, a plantação dependia apenas das chuvas da região.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho apresentou um sistema de captura de imagens aéreas e detecção de anomalias em tempo real em plantações agrícolas. O sistema consistiu em um VANT de asa fixa de fácil manipulação e uma aplicação embarcada para a captura das imagens e detecções das anomalias. Para isso, o IVDN foi utilizado como parâmetro. Os resultados mostraram que é possível detectar regiões específicas da plantação ainda durante o voo. Baixo e alto vigor, regiões encharcadas e solo exposto foram detectados com precisão em tempo real. Além disso a estimativa de produtividade foi acertiva de maneira geral, e aliado a outros fatores esse resultado pode ser melhorado para casos específicos.

Os agrônomos envolvidos ficaram satisfeitos com os resultados. Foi relatado que o sistema tem capacidade para auxiliar o trabalho no campo, agilizando as tomadas de decisões que muitas vezes perdem a eficácia devido a demora causada pelo sistema tradicional de busca na plantação. É importante salientar que a aplicação também pode ser ajustada para detectar não apenas regiões de baixo vigor, mas outros elementos como: fogo, animais, espécies de vegetação, etc. Bastando apenas delimitar uma faixa específica como entrada.

Bibliografia

ABDULLAHI, H.; MAHIEDDINE, F.; SHERIFF, R. E. Technology impact on agricultural productivity: A review of precision agriculture using unmanned aerial vehicles. In: SPRINGER. *International Conference on Wireless and Satellite Systems*. [S.l.], 2015. p. 388–400.

ARDUPILOT.ORG. *Open Source Autopilot*. 2015. [Http://www.ardupilot.org](http://www.ardupilot.org). Access in Feb. 2017.

ARDUPILOT.ORG. *Mission Planner Home*. 2016. [Http://ardupilot.org/planner/index.html](http://ardupilot.org/planner/index.html). Access in Nov. 2017.

BENDIG, J. et al. Combining uav-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Elsevier, v. 39, p. 79–87, 2015.

BORATTO I. M. DE P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação ndvi, savi e iaf na caracterização da cobertura vegetativa da região norte de minas gerais. In: _____. 16. ed. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*: Embrapa, 2013. p. 201–213. Embrapa Milho e Sorgo.

CALDERÓN, R. et al. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, v. 139, p. 231–245, 2013.

CERBARO, V. A. et al. Plataforma de baixo custo para coleta de imagens ndvi. In: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, PONTA GROSSA. USO DE *Embrapa Trigo-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. [S.l.], 2015.

CHAVES, A. A.; SCALEA, R. A. L. Uso de vants e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil*, v. 25, 2015.

COELHO, J. C. et al. Agricultura de precisão. *Prefácio, Lisboa*, 2004.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Elsevier, v. 92, p. 79–97, 2014.

COUTINHO, M. A. N. et al. Análise comparativa dos índices de vegetação ndvi, savi, ratio e iaf para identificação de queimadas. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 1, p. 70–81, 2016.

- COVELE, P. A. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em moçambique usando noaa_avhrrr – ndvi. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, n. 29, p.85 – 95, 2011.
- DEMOLINARI, H. C. Projeto de construção um drone hexacóptero. Niterói, 2016.
- DJI. 2019. Disponível em: <https://www.dji.com/?from=store_top_nav>.
- DUFT, M. C. P. e. M. R. L. V. L. D. G. Estimação da produtividade dos resíduos da cana-de-açúcar por meio do sensor modis. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE*, v. 16, 2013.
- EBEE. 2017. Disponível em: <<https://www.sensefly.com/drones/ebec.html>>.
- GAGO, J. et al. Uavs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural water management*, Elsevier, v. 153, p. 9–19, 2015.
- GÉE, C. et al. Crop/weed discrimination in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 60, n. 1, p. 49–59, 2008.
- GHAZAL, M.; KHALIL, Y. A.; HAJJDIAB, H. Uav-based remote sensing for vegetation cover estimation using ndvi imagery and level sets method. In: IEEE. *Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 2015 IEEE International Symposium on*. [S.l.], 2015. p. 332–337.
- GIM. 2014. Disponível em: <<https://www.gim-international.com/content/news/gim-international-to-publish-second-uas-edition>>.
- GUERRERO, F. J. D. T.; HINOJOSA-CORONA, A.; KRETZSCHMAR, T. G. A comparative study of ndvi values between north-and south-facing slopes in a semiarid mountainous region. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, v. 9, n. 12, p. 5350–5356, 2016.
- HUANG, J. et al. Analysis of ndvi data for crop identification and yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, v. 7, n. 11, p. 4374–4384, 2014.
- JOSÉ, B. et al. Multispectral ndvi aerial image system for vegetation analysis by using a consumer camera. In: IEEE. *Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2014 IEEE International Autumn Meeting on*. [S.l.], 2014. p. 1–6.
- KKMULTICOPTER. 2019. Disponível em: <<https://lazyzero.de/en/modellbau/kkmulticopterflashtool>>.
- KLUG, M. Desenvolvimento de uma aeronave vtol de baixo custo do tipo quadrirotor. *Revista Técnico Científica do IFSC*, v. 1, n. 5, 2015.
- LEDA, V. C. et al. Índices de vegetação na caracterização da bacia do ribeirão da prata, lençóis paulista–sp1. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 1, 2016.
- LEE, W. et al. Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 74, n. 1, p. 2–33, 2010.

- LEITE, A. P.; SANTOS, G. R.; SANTOS, J. É. O. Análise temporal dos índices de vegetação ndvi e savi na estação experimental de itatinga utilizando imagens landsat 8. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 4, 2017.
- LIU, R. Compositing the minimum ndvi for modis data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 55, n. 3, p. 1396–1406, 2017.
- MACHADO, J. et al. Agricultura de precisão: Programas tecnológicos no brasil. *Revista Geama*, v. 4, n. 2, p. 23–30, 2018.
- MALDONADO, W.; BARBOSA, J. C. Automatic green fruit counting in orange trees using digital images. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 127, p. 572–581, 2016.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. *Agricultura de precisão*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2015.
- MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. [S.l.]: UFV, 2005.
- MORRIS, S.; BARNARD, K. Finding trails. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1–8.
- MOUSAZADEH, H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*, Elsevier, v. 50, n. 3, p. 211–232, 2013.
- MULTIWII. 2015. Disponível em: <http://www.multiwii.com/wiki/index.php?title=Main_Page>.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger princípios de bioquímica*. São Paulo: Sarvier, v. 3, 2002.
- OLIVEIRA, G. S. d. Produtividade de biomassa de cana-de-açúcar em função dos índices de vegetação utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.
- PAJARES, G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (uavs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Elsevier, v. 81, n. 4, p. 281–329, 2015.
- POLIDORIO, A. M.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Índice indicador de corpos d'água para imagens multiespectrais. *I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, v. 9, 2004.
- RAVEN, P. H. et al. *Biologia vegetal*. [S.l.]: Guanabara Dois Rio de Janeiro, 1978.
- ROMERO-TRIGUEROS, C. et al. Effects of saline reclaimed waters and deficit irrigation on citrus physiology assessed by uav remote sensing. *Agricultural Water Management*, Elsevier, v. 183, p. 60–69, 2017.
- SHET, V. et al. Predicate logic based image grammars for complex pattern recognition. *International journal of computer vision*, Springer, v. 93, n. 2, p. 141–161, 2011.

STOKKELAND, M.; KLAUSEN, K.; JOHANSEN, T. A. Autonomous visual navigation of unmanned aerial vehicle for wind turbine inspection. In: IEEE. *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015 International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 998–1007.

STORY, D. et al. Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 74, n. 2, p. 238–243, 2010.

TAROT. 2014. Disponível em: <<http://www.tarotrc.com/Product/Detail.aspx?Lang=en&Id=1a17ef36-a78f-4bc8-a20f-8b5f33cb9de9>>.

TELLAECHE, A. et al. A vision-based method for weeds identification through the bayesian decision theory. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 41, n. 2, p. 521–530, 2008.

VALAVANIS, K. P.; VACHTSEVANOS, G. J. *Handbook of unmanned aerial vehicles*. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2014.

VASUDEVAN, A.; KUMAR, D. A.; BHUVANESWARI, N. Precision farming using unmanned aerial and ground vehicles. In: IEEE. *Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2016 IEEE*. [S.l.], 2016. p. 146–150.

VEGA, F. A. et al. Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering*, Elsevier, v. 132, p. 19–27, 2015.

VELASQUEZ, L. C.; ARGUETA, J.; MAZARIEGOS, K. Implementation of a low cost aerial vehicle for crop analysis in emerging countries. In: IEEE. *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2016*. [S.l.], 2016. p. 21–27.

YU, Z. et al. Automatic image-based detection technology for two critical growth stages of maize: Emergence and three-leaf stage. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier, v. 174, p. 65–84, 2013.

ZHANG, H.; LI, D. Applications of computer vision techniques to cotton foreign matter inspection: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 109, p. 59–70, 2014.

ZHAO, T. et al. More reliable crop water stress quantification using small unmanned aerial systems (suas). *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, v. 49, n. 16, p. 409–414, 2016.

ZHENG, H. et al. Evaluation of a uav-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. In: IEEE. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*. [S.l.], 2016. p. 7350–7353.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528s Melo, Joanacelle Bandeira de.

Sistema com baixo custo de captura de imagens aéreas e detecção de anomalias em plantações em tempo real / Joanacelle Bandeira de Melo. - João Pessoa, 2019.
49 f. : il.

Orientação: Alisson V. Brito.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI.

1. Informática - Processamento de imagens. 2. VANT - Veículo aéreo não tripulado. 3. Agricultura - Detecção de anomalias. 4. Índice de vegetação. I. Brito, Alisson V. II. Título.

UFPB/BC

CDU 004.383.5(043)