

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – CAMPUS MONTE CARMELO

JORGIANA KAMILA TEIXEIRA DO CRATO

**DETECÇÃO EM MULTIESCALA DE BICHO-MINEIRO EM LAVOURA
CAFEIEIRA UTILIZANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

MONTE CARMELO

2018

JORGIANA KAMILA TEIXEIRA DO CRATO

**DETECÇÃO EM MULTIESCALA DE BICHO-MINEIRO EM LAVOURA
CAFEEIRA UTILIZANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção de título de Engenheiro Agrimensor e Cartografo do programa de graduação da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

MONTE CARMELO

2018

JORGIANA KAMILA TEIXEIRA DO CRATO

**DETECÇÃO EM MULTIESCALA DE BICHO-MINEIRO EM LAVOURA
CAFEIEIRA UTILIZANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovada para obtenção de título de Engenheiro Agrimensor e Cartografo do programa de graduação da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo.

Monte Carmelo, 04 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, IG, UFU/MG

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa, IG, UFU/MG

Prof. Dra. Vanessa Andaló Mendes de Carvalho, ICIAG, UFU/MG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me fortalecido até aqui e por cada milagre.

Aos meus pais, principalmente a minha mãe, por terem sido meus alicerces nesta jornada, sem eles seria impossível.

Aos meus demais familiares, pela torcida, pelas orações, pelas conversas e pelo apoio.

Ao meu orientador prof. Dr. Rodrigo, por ter acreditado que eu conseguiria realizar este trabalho, por não medir esforços para me auxiliar o máximo que ele pôde e também por corrigir e sugerir melhorias tanto para o meu trabalho quanto para a vida.

A Bruna que mesmo longe sempre me apoiou, me ouviu e nunca me deixou perder a fé de que esse momento chegaria.

A Lays que no decorrer desses anos se tornou mais que uma colega de faculdade, se tornou minha irmã para a vida, de cabecinha avoadada me fez ri nos momentos mais difíceis.

Ao Sérgio, Tulio, Luiz Fernando e Vinicius Salles que se tornaram mais que meus irmãos de coração, me apoiando e me ajudando em tudo, além da vida acadêmica em nossas vidas profissionais e pessoais.

A Leidyane, o Bruno, o Padrinho, a Madrinha, a Eliane e o Eurico por me tratarem como família e mostrarem que ainda existem pessoas boas e de puro coração.

Aos meus colegas da 5º turma de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica por me ensinarem que sozinho em lugar nenhum chegamos.

Ao Sr. Marcos Antônio que me ofereceu de bom grado um lugar para estagiar e aprender com a prática a vida de um Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo.

Agradeço também a professora Vanessa Andaló do curso de Agronomia da UFU e a sua orientanda Laura Souto por cederem as fotos da coleta terrestre para esta pesquisa e um espaço em sua área de pesquisa, assim possibilitando a realização do voo sobre a área com presença de bicho-mineiro.

Nesse momento de finalização, meus sinceros agradecimentos àqueles que mais marcaram minha trajetória nestes últimos anos.

Resumo

Ao averiguar em um contexto histórico o agronegócio sempre esteve vinculado a economia brasileira. Desde à colonização, a agricultura no Brasil é, historicamente, umas das principais bases da economia do país, desde os primórdios da colonização até o século XXI evoluindo das extensas monoculturas para a diversificação da produção, acentuando a vocação agrícola do país. Em se tratando da cultura cafeeira no Brasil, o desenvolvimento do café confunde-se com a própria história do País devido a sua grande importância econômica e social. Levando em conta a variável econômica, faz-se necessário cada vez mais o estudo das dinâmicas envolvidas no controle das pragas e doenças que atacam os cafezais. Este trabalho tem como objetivo a identificação de manchas saudáveis e doentes por meio da utilização de imagens aéreas coletadas com uma aeronave remotamente pilotada (ARP) para auxiliar na identificação morfológica de pragas, bicho-mineiro, *L. coffeella*, presente na cultura cafeeira. Também foram usadas imagens terrestres obtidas com câmara multiespectral a fim de proporcionar subsídios técnicos para uma classificação refinada da área. Com auxílio dos produtos coletados em campo e a com a geração de um mapa da área de estudo com a classificação de pragas presentes na cultura, juntamente com ortofotos este trabalho possibilita monitorar de forma mais acessível e de maneira constante ao produtor, mostrando a viabilidade da utilização de tecnologias de baixo custo para geração de produtos para cultura cafeeira.

Palavras chave: Agricultura de Precisão, Bicho Mineiro, *Leucoptera Coffeella*, Aeronave Remotamente Pilotada, Classificação de Imagens.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Floração em cafeeiro, <i>Coffea arabica</i> | 16 |
| Figura 2 - Folha do cafeeiro com presença de bicho-mineiro | 18 |
| Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo A | 27 |
| Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo B | 28 |
| Figura 5 - Phantom 4 advanced | 29 |
| Figura 6 - Câmara Canon NGB | 29 |
| Figura 7 - Folhagem do cafeeiro coletada com a câmera NGB | 30 |
| Figura 8 - Câmara Mapir | 30 |
| Figura 9 - Nuvem de pontos gerada com uso do Software Pix4D | 31 |
| Figura 10 - Metodologia usada para coleta de dados | 32 |
| Figura 11 - Processo de calibração imagens coletadas no voo | 33 |
| Figura 12 – Área de estudo B, exemplo de imagem resultante do processo de calibração | 34 |
| Figura 13 - Mapa de voo elaborado para uma das áreas de estudo | 35 |
| Figura 14 - Imagem visível das áreas de estudo, (A) Fazenda Araras e (B) Fazenda Santa Vitoria | 36 |
| Figura 15 - Imagem visível da área de estudo (A) | 37 |
| Figura 16 - Reboleiras com desfolha possivelmente causadas pelo bicho-mineiro na área (B) Fazenda Santa Vitoria | 37 |
| Figura 17 - NDVI da área de estudo (A) | 38 |
| Figura 18 - NDVI da área de estudo (B) gerado pelo software da Mapir | 39 |
| Figura 19 - Imagem terrestre coletada na área de estudos (A), presença de mina nas folhas | 40 |
| Figura 20 - Imagem terrestre coletada na área de estudos (A), presença de mina nas folhas | 40 |
| Figura 21 - Imagem coletada com a câmera Canon NGB | 41 |
| Figura 22 - Imagem coletada com câmera Canon NGB | 41 |
| Figura 23 - Reboleira com possível presença de nematoide | 42 |
| Figura 24 - Reboleira com possível presença de nematoide | 43 |
| Figura 25 - Reboleira com possível presença de nematoide | 43 |
| Figura 26 - Reboleira com possível presença de nematoide, detectada a partir da imagem área | 44 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|--|
| ANAC | Agencia nacional de aviação civil |
| ANATEL | Agencia nacional de telecomunicações |
| ARP / RPA | Aeronave remotamente pilotada / <i>Remotely piloted aircraft</i> |
| CAVE | Certificado de voo experimental |
| CCD's | <i>Charge couple devices</i> |
| COMAR | Comando aéreo regional |
| DECEA | Departamento de controle do espaço aéreo |
| EUA | Estados unidos da américa |
| GLONASS | Sistema de navegação global por satélite |
| GNSS/ GPS | <i>Global navigation satellite system</i> / Sistema de posicionamento global |
| IAF | Índice de área foliar |
| IBGE | Instituto brasileiro de geografia e estatística |
| IFOV | <i>Istantaneous field of view</i> |
| ISPRS | <i>International society for photogrammetry and remote sensing</i> |
| MDS | Modelo digital de superfície |
| MDT | Modelo digital do terreno |
| NDVI | Índice de diferença normalizada da vegetação |
| NDWI | Índice de diferença normalizada da água |
| NGB | <i>Nir, green, blue</i> , sistema de cores no infravermelho |
| NIR | Sistema infravermelho |
| RGB | <i>Red, green, blue</i> , sistema de cores no visível |
| RTK | <i>Real time kinematic</i> |
| SAVI | Índice de vegetação |
| SIG | Sistema de informações geográficas |
| SISCEAB | Sistema de controle do espaço aéreo brasileiro |
| VANT | Veículo aéreo não tripulado |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 11 |
| 3 | OBJETIVO | 12 |
| 3.1 | Objetivo geral | 12 |
| 3.2 | Objetivos específicos | 12 |
| 4 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 12 |
| 4.1 | Processamento de digital de imagens | 12 |
| 4.2 | Agricultura de precisão | 14 |
| 4.3 | Cultura do cafeeiro | 15 |
| 4.3.1 | Bicho-mineiro-do-cafeeiro (<i>Leucoptera coffeella</i>) | 17 |
| 4.4 | Fotogrametria e Sensoriamento Remoto | 18 |
| 4.5 | Aeronave remotamente pilotada (ARP) | 20 |
| 4.5.1 | Legislação atual | 22 |
| 4.6 | Resoluções das imagens aéreas e orbitais | 23 |
| 4.6.1 | Comportamento do alvo | 24 |
| 4.6.2 | Calibração radiométrica | 24 |
| 4.6.3 | Índice de vegetação | 25 |
| 5 | MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 5.1 | Caracterização das áreas de estudo | 27 |
| 5.2 | Phantom 4 Advanced | 28 |
| 5.2.1 | Câmaras Canon NGB e <i>Mapir 3</i> | 29 |
| 5.2.2 | Pix4D | 31 |
| 5.3 | Planejamento, coleta e manipulação de dados | 31 |
| 5.3.1 | Processo de calibração da <i>Mapir</i> | 33 |
| 5.3.2 | Planejamento da cobertura aerofotogramétrica (Plano de voo) | 34 |
| 5.3.3 | Processos computacionais ou fotogramétricos | 35 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.3.4 | Investigação de anomalias ou padrões que representam os problemas investigados nas imagens da cultura cafeeira via processamento digital de imagens | 35 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 36 |
| 6.1 | Imagens aéreas coletadas com câmara visível e infravermelho próximo | 36 |
| 6.2 | Imagens terrestres coletadas com câmara visível e infravermelho próximo | 39 |
| 7 | CONCLUSÃO..... | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 46 |

1 INTRODUÇÃO

O avanço na tecnologia dos sensores de imageamento, que atualmente oferece uma variedade de sensores com imagens de resoluções espaciais, radiométricas e espectrais maiores e com menores preços, tem contribuído para o desenvolvimento de várias áreas do conhecimento e, dentre estas estão a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto, que vem passando por uma revolução tecnológica a partir da utilização de novos sensores. A partir desses sensores são adquiridas imagens em diferentes plataformas utilizando diferentes sistemas e princípios de aquisição (HONKAVAARA et al., 2009).

Quanto aos tipos de plataformas aéreas, as aeronaves remotamente pilotadas (ARP) apresentam-se como uma ferramenta em aplicações no setor agrícola e em missões de reconhecimento, principalmente pela redução de custo e do tamanho dos equipamentos embarcados (MEDEIROS, 2007).

Imagens multiespectrais são empregadas em diversas atividades relacionadas ao monitoramento de fenômenos que ocorrem na superfície do terreno. Esse tipo de dado é empregado com sucesso na agricultura, pois a vegetação possui comportamento espectral que permite detectar variações em suas características físicas.

Dessa forma, as imagens têm revolucionado a habilidade de distinguir múltiplas características de plantações agrícolas, incluindo nutrientes, água, pragas, doenças, plantas daninhas, biomassa e estrutura do dossel (MULLA, 2013).

Neste contexto, destacando a importância socioeconômica da cultura cafeeira para a região do Cerrado Mineiro, onde é praticada em uma vasta área e que atualmente está sujeita ao ataque do bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), que reduz a área fotossintética assim podendo causar redução na produção de grãos afetando economicamente os produtores, pois proporciona drástica redução na colheita.

Juntamente com os problemas caracterizados pelos períodos hídricos onde há déficit hídrico o que acarreta o aumento da infestação do bicho-mineiro, e também ocorrer alguns distúrbios fisiológicos no sistema radicular e/ou na parte aérea da planta. Sendo analisados basicamente a sanidade do sistema radicular da planta que favorece a produtividade e uma longevidade da planta, os problemas geralmente causados pela presença do bicho-mineiro, *L. coffeella*, apresentam-se pela queda dos frutos, murcha da folhagem, amarelecimento, morte dos ramos até mesmo a morte da planta, esses sintomas se intensificam nos períodos de verão (MESQUITA, 2016).

Desta forma, o intuito é empregar técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, aliadas as técnicas de agricultura de precisão, com a problemática do contínuo aparecimento do bicho-mineiro, *L. coffeella*, mesmo quando já há manejo em áreas antes infestadas, assim como o manejo cultural que trata de forma a auxiliar na tomada de decisão específico de uma área de forma homogênea, apesar de não existir talhões de nenhuma cultura que sejam realmente homogêneos.

O monitoramento de pragas do cafeeiro deve ser realizado desde o início do ciclo da cultura, a fim de prevenir infestações futuras e evitar aplicação de produtos químicos agressivos ao meio; levando em consideração a vantagem de propiciar a preservação ambiental e o aumento na produtividade (SOUZA, 2007).

Portanto, este trabalho tem como direcionamento averiguar se com a utilização de imagens aéreas oriundas de plataformas não tripuladas é possível detectar padrões que caracterizem anomalia causada pelo bicho-mineiro na cultura cafeeira, assim sendo possível identificar sua presença na plantação?

2 JUSTIFICATIVA

Com a grande importância da cultura cafeeira no Brasil faz-se necessário avaliar e aplicar novas práticas de controle de insetos-praga que aumentem a produção de forma eficaz e com baixo custo. Para tal fim, este trabalho visa proporcionar por meio de mapeamentos aerofotogramétricos uma forma para avaliação do potencial da Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) e das imagens de alta resolução espacial e temporal da cultura cafeeira, com o fim de detectar a presença de bicho-mineiro, *L. coffeella*, no plantio de café, sendo este um dos principais causadores de perda na produção do mesmo.

O bicho-mineiro, *L. coffeella*, já possui formas de controle através do uso de defensivos, no entanto mesmo com a aplicação de produtos químicos o bicho-mineiro, *L. coffeella*, retorna, principalmente nos meses mais quentes e secos do ano.

Com os resultados obtidos será possível fornecer aos cafeicultores uma ferramenta que permita identificar, mapear e fornecer imagens que mostrem as áreas afetadas pelo bicho-mineiro dentro de talhões. Assim, o produtor poderá direcionar o controle do inseto-praga reduzindo a quantidade de inseticidas, e resultando em menor custo para o controle.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Avaliar o uso de imagens oriundas de plataformas não tripuladas com intuito de detectar padrões que possam ser caracterizados por ocorrências de bicho-mineiro, *L. coffeella*, na cultura cafeeira.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar se a partir de imagens obtidas por ARP são uteis ao monitoramento da cultura cafeeira, para detecção de bicho-mineiro, *L. coffeella*.
- Através de produtos cartográficos, relatórios e gráficos comparar a resposta dos índices para uma área que já possui manejo de bicho-mineiro, *L. coffeella* com uma área que aparenta estar abandonada.
- Fazer recomendações para futuras melhorias na metodologia aplicada.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Processamento de digital de imagens

As imagens digitais possuem grande vantagem ao ser manipuladas no meio digital. Através das imagens digitais podem ser geradas composições coloridas a partir da utilização de diferentes combinações de bandas espectrais, sendo a manipulação contraste um dos processos mais simples, onde manipula-se o histograma original (NOVO, 2010).

Meneses e Almeida (2012) destacam que problemas nas imagens na maioria são devido aos erros e defeitos que os sensores podem apresenta, e por perdas de estabilidade da plataforma que aloja o sensor. No entanto, há fontes de erros que independem da plataforma, sendo o mau funcionamento do sensor ou erros causados por distorções as quais as imagens estão sujeitas, deformações essas na escala, ou incorreções nas posições espaciais dos pixels, perda de contraste entre os alvos ou registros incorretos dos valores digitais dos pixels.

Erros e defeitos presentes nas imagens necessitam de processos no meio digital para serem corrigidos e amenizados, assim produzindo cenas mais limpas sem a presença de ruídos no resultado final. Esse processo constitui-se do pré-processamento o qual as correções de

ruídos, atmosférica e geométrica são obtidas através de técnicas que podem ser divididas em duas, técnicas de realce e as técnicas de classificação.

O Pré-processamento como a restauração quantitativa da imagem para corrigir degradações geométricas e radiométricas, inseridas pelo sensor, no processo de formação das imagens. O resultado do pré-processamento é uma imagem corrigida geométrica e radiometricamente (SILVA, 2007).

As correções de distorções fazem parte do conjunto de funções de processamento que se denomina de pré-processamento. As técnicas de pré-processamento são assim denominadas, porque elas não visam transformações das imagens, as quais têm, como principal objetivo, melhorar a qualidade visual da cena, visando eliminar ruídos, correção de distorções geométricas (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Silva (2007) caracteriza o realce como um conjunto de técnicas que melhoram a qualidade visual e transformam as imagens, de tal forma que as informações a serem extraídas sejam melhor discerníveis. O resultado destes operadores sobre a imagem é uma imagem transformada e melhorada para aplicação.

A manipulação do realce corre com a obtenção do histograma da imagem, o que caracteriza qual técnica espectral e/ou espaciais (filtros) deve ser necessária. Como cada banda espectral tem uma particular forma de histograma, opções diferentes de ampliação de contraste, por expansão de histogramas, poderão ser escolhidas para as diferentes bandas de um sensor (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Meneses e Almeida (2012) “As técnicas de classificação temática tratam a imagem por meio de complexos modelos estatísticos e probabilísticos, a fim de gerar um mapa temático com uma participação bastante reduzida do intérprete no processo do mapeamento”.

Por fim Silva (2007) destaca que a análise que está relacionada com a extração de informações das imagens. Inclui a segmentação (partição das imagens em regiões com características diferentes) e a classificação (segmentação específica usando técnicas de reconhecimento de padrões).

Quando se trata da agricultura de precisão, os processos descritos acima assumem um papel importante para as avaliações. Trabalhando com a banda do visível percebe-se que a estrada tem uma alta reflectância, sendo superior à reflectância da vegetação. O valor médio da reflectância do pixel da mistura se aproximará mais do valor da reflectância da estrada do que da vegetação (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Na literatura podem-se encontrar vários estudos que utilizam o processamento digital de imagem voltado à agricultura de precisão, alguns exemplos são (MARTINS, 2013) caracterização espectral e espacial de áreas infestadas por nematoides e *Migdolus fryanus* em

cultura canavieira (PEREIRA, SILVA E PAMBOUKIAN, 2016) sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu; (MARTINS,2016) Inferência dos Níveis de Infecção por Nematoides na Cultura Cafeeira a partir de dados de Sensoriamento Remoto adquiridos em multiescala; (RAMME e MARTELLO, 2017) Estudo preliminar de Técnicas em Processamento Digital de Imagem para Smartphone e Índices de Vegetação GRVI, MGRVI, RGBVI na Agricultura de Precisão.

4.2 Agricultura de precisão

Os primeiros fundamentos teóricos da AP surgiram em 1929, nos Estados Unidos, porém tornaram-se mais conhecidos na década de 80, devido aos avanços e à difusão dos sistemas de posicionamento geográfico, sistemas de informações geográficas, monitoramento de colheita e também à informática. Além de destacar-se nos EUA, ganhou grande notoriedade em países como Alemanha, Argentina, Austrália, Inglaterra e Brasil. No país, as primeiras pesquisas na área foram realizadas na década de 90 (BERNARDI, 2014).

Trata-se de um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias, fundamentado nos conceitos de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos. A agricultura de precisão visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção. Esse conjunto de ferramentas para a agricultura pode fazer uso do *Global Navigation Satellite System* (GNSS), do Sistema de Informações Geográficas (SIG), de instrumentos e de sensores para medidas ou detecção de parâmetros ou de alvos de interesse no agroecossistema (solo, planta, insetos e doenças), de geoestatística.

No primeiro momento, a agricultura de precisão foi direcionada pelas máquinas agrícolas, como colheitadeiras e semeadeiras, embarcando-se a elas receptores GNSS, sofisticados computadores de bordo e sistemas que possibilitam a geração de mapas de produtividade. Aprimorou-se o mapeamento da variabilidade do solo, plantas e outros parâmetros, resultando em uma aplicação otimizada de insumos, diminuindo custos e impactos ambientais negativos, consecutivamente, aumentando o retorno econômico, social e ambiental. (BERNARDI, 2014).

Silva e Alves (2013) a agricultura de precisão difere do manejo convencional por caracterizar e considerar a variabilidade de forma mais precisa, unindo relações espaciais às ações de manejo, de forma a possibilitar a tomada de decisão.

Bernardi (2014) afirma que o termo agricultura de precisão de origem no Estados Unidos da América (EUA) vem sendo utilizado no Brasil em tudo que se referia à atividade realizada com maior precisão por meio de sistemas eletrônicos.

Essa forma de uso realçou a necessidade de maior precisão nas tarefas agrícolas como a necessidade de máquinas e sistemas de análise mais precisos, misturando todos os conceitos de medida e atuação agrícola. Uma máquina precisa, ou seja, com sistema de distribuição uniforme e regular, com mínimo de variação dentro das especificações de ajuste, é uma máquina convencional, que realiza uma operação precisa e com erro dentro de uma faixa tolerável, porém, não é uma máquina que se destina à Agricultura de Precisão, pois não apoia na gestão da variabilidade espacial da lavoura e nem aplica insumos à taxa variada. Portanto, definitivamente uma máquina precisa não está diretamente relacionada a uma máquina para Agricultura de Precisão. (BERNARDI 2014)

A agricultura de precisão caracteriza-se pelo o emprego de meios de controle de doenças e pragas, sofisticados e mecanizados, e de técnicas de pulverização e aplicação de pesticidas em áreas específicas.

A mecanização do campo caracteriza o uso de máquinas que trabalham de modo quase automático recebendo o sinal digital emitido por uma base *Real Time Kinematic* (RTK) que envia coordenadas em tempo real com precisão milimétrica.

Segundo Silva e Alves (2013) a agricultura de precisão leva em conta a variabilidade de forma mais precisa, definindo estratégias e táticas de manejo pelos produtores, redução dos custos, otimização e qualidade da lavoura, gerenciamento de recursos e preservação ambiental.

A Embrapa (2014) caracteriza a existência de dois tipos de erros que influenciam a utilização da agricultura de precisão; erro antrópico que pode ocorrer em grande quantidade na lavoura e pode ser corrigido com o uso de maquinário, e o erro natural causado pelo excesso de insumos, causando perdas significativas na produção.

A associação da perda de produção e a variabilidade espacial e temporal caracterizada por Silva e Alves (2013) são fatores necessários para caracterizar a amostragem das lavouras, e a variabilidade é uma particularidade causada por processos de formação do ambiente.

4.3 Cultura do cafeeiro

O cafeeiro foi introduzido no país em 1727, pelo estado do Pará, chegando ao sudeste brasileiro no século seguinte. Foi responsável por grandes transformações na economia e na sociedade civil (CONCEIÇÃO, 2005).

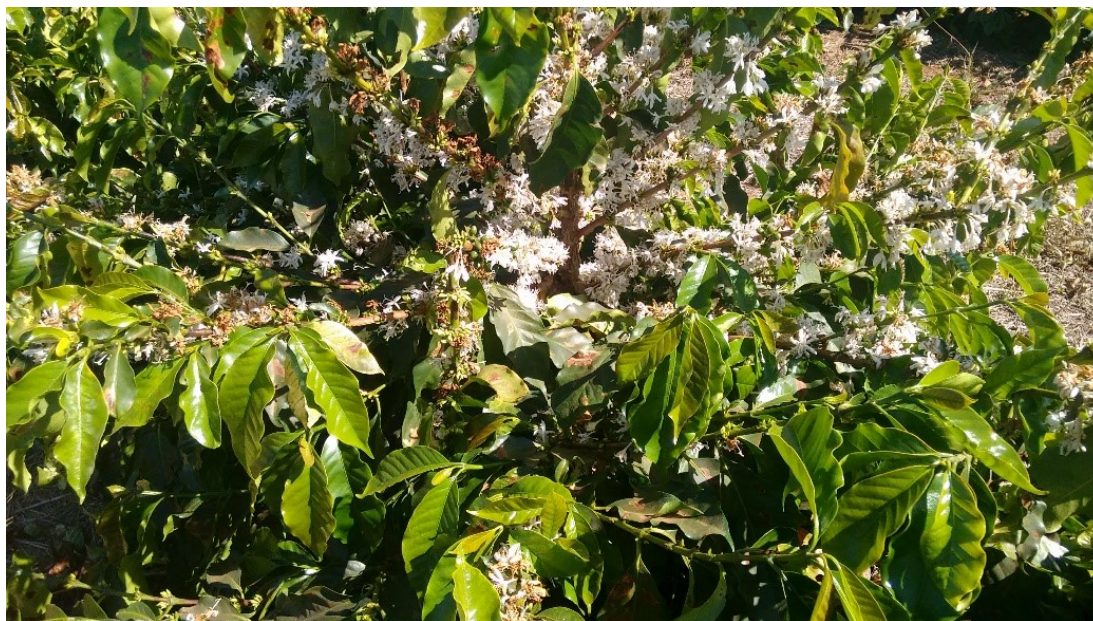
O café arábica, *Coffea arabica* L., é uma das principais culturas nos país, Camargo (1985) afirma que a planta possui comportamento diferente de acordo com o hemisfério ao qual

pertence, e no hemisfério sul tende a ter suas florada na época do segundo semestre (agosto a novembro), devido a evapotranspiração potencial correspondente à chuva teoricamente necessária ou ideal para manter o solo bem suprido de umidade a manter a folhagem verde e turgescendo no período considerado.

Nas principais áreas cafeeiras do Brasil, das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, normalmente com latitudes superiores a 20°S, o hidro período caracterizado pela estação chuvosa de primavera-verão seguida de estação relativamente seca de outono-inverno, favorece consideravelmente a frutificação e produção do cafeeiro (Figura 1) (CAMARGO 1985).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária informou que atualmente o Brasil passou a ser responsável pela produção de 31% da produção mundial de café em grão, tendo safra com produção que pode chegar a 48 milhões de sacas, o que reflete na totalidade de área plantada, sendo entorno de 2,3 milhões de hectares e Minas Gerais como responsável por cerca de 1,23 milhões de hectares plantados (EMBRAPA, 2016).

Figura 1 – Floração em cafeeiro, *Coffea arabica*



Fonte: A Autora.

Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) a área colhida, a quantidade produzida, o rendimento médio, o valor da produção, a variação da produção em relação ao ano anterior e participação no total da produção nacional, Minas Gerais é o primeiro estado em participação total na produção sendo responsável por 60,8% da produção e o município de Monte Carmelo em Minas Gerais ocupa a posição de o sexto município com maior

produção equivalendo a 1,1%, ou seja, cerca de 12,690 ha de área colhida somente para o ano de 2016.

4.3.1 Bicho-mineiro-do-cafeeiro (*Leucoptera coffeella*)

O bicho-mineiro, *L. coffeella*, conhecido é uma das pragas mais comuns na cultura cafeeira. É originária da África, e Antilhas, passando a ocorrer no Brasil por volta de 1850 (MESQUITA et al, 2016).

Com ciclo evolutivo de 19 a 87 dias, sofre metamorfose completa de ovo a fase adulta, que é uma mariposa branca. Quando na fase larval se alimenta do parênquima foliar, causando redução d área fotossintética e desfolha, podendo acarretar danos econômicos (MESQUITA et al, 2016). É um inseto de monófago, porém os adultos utilizam plantas adjacentes para alimentação.

O bicho mineiro se alimenta exclusivamente de a área foliar da planta, o que causa minas nas folhas. Segundo Guimaraes et al. (2010) s minas nas folhas são causadas pelas lagartas do bicho-mineiro, *L. coffeella* (Figura 2), transformando-se em áreas necróticas, mortas, e conseqüentemente, em uma menor área fotossintetizadora, podendo inclusive provocar a queda e grande desfolha, nos períodos mais secos do ano. Ocorrendo também a queda das folhas nos períodos mais secos do ano, na região sul do estado de Minas Gerais a queda das folhas minadas ocorre em torno de abril e maio.

A praga ainda é controlável quando 30% das folhas apresentam minas com lagartas vivas, no entanto quando as minas atingem cerca de 40% das folhas trata-se de sinais de predação, o que é um indicativo de que a praga está no ponto de não poder ser controlada (GUIMARAES et al. 2010).

Figura 2 - Folha do cafeeiro com presença de bicho-mineiro



Fonte: A Autora.

O controle pode ser feito de três formas, cultural, por comportamento ou por controle químico, os quais consiste em adoção de técnicas e medidas para evitar a proliferação da praga.

Controle por comportamento se baseia no uso de feromônios sexuais para confundir os machos e os atrair para armadilhas, e assim reduzir a população de adultos. Já o método mais utilizado é o controle químico, onde analisa-se o custo do monitoramento e os parâmetros históricos dos talhões aplicando inseticidas, no entanto tem sido um método pouco eficaz para o controle do bicho-mineiro, *L. coffeella*, e vem com tendo elevado custo (MESQUITA, 2016).

4.4 Fotogrametria e Sensoriamento Remoto

A definição do termo fotogrametria vem do grego que significa medir graficamente utilizando luz. Ao passo que houve o surgimento de novas tecnologias, novas propostas para o conceito foram apresentadas. Desta forma Andrade (1998, p. 01) propôs que “Fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens”. Sendo que:

A Fotogrametria encontra o seu maior campo de aplicação na elaboração de mapas em colaboração com outras ciências como a Geodésia e a Cartografia. Neste campo, as imagens fotográficas são utilizadas para o posicionamento de pontos na superfície terrestre, ou mesmo

de astros, e para mapear temas do objeto fotografado, tais como: rede de drenagem, florestas, culturas, rede viária, feições geológicas, tipos de solo etc. (Andrade, 1998, p. 01)

Novo (2010) define Sensoriamento Remoto como modernos equipamentos sensores, equipamentos para processamento dos dados, equipamentos de transmissão, aeronaves e espaçonaves, utilizados conjuntamente com o objetivo de estudar o ambiente terrestre a partir do registro e das iterações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que constituem o planeta Terra em suas mais diversas manifestações. Ainda segundo Novo (2010), um sensor é “qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente, sem contato físico entre este sensor e os alvos de interesse”. A energia utilizada neste caso é a eletromagnética. Um exemplo simples de sensor comumente utilizado é a câmara fotográfica, que utiliza a sensibilização química no filme para gerar suas imagens. Diversos tipos de câmaras digitais e sensores de varredura (utilizando CCD's – *charge coupled devices*, detectores que convertem energia eletromagnética em corrente elétrica) também se encaixam nesta categoria.

A *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS), por sua vez, enuncia que “Fotogrametria e Sensoriamento Remoto é a arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores imageadores e outros, sobre a Terra e seu meio ambiente, e outros objetos físicos e processos através de gravação, medição, análise e representação”. Convém ressaltar o “é”, no singular, que destaca a ideia de junção de ambos em um só conceito.

A princípio, a fotogrametria foi baseada em fórmulas matemáticas por meio de instrumentos ópticos e mecânicos de valores onerosos. Assim, vários países em desenvolvimento tiveram problemas para adquirir tais instrumentos, que em muitas vezes eram destinados em primeiros casos para agências de mapeamento ou universidades.

Com o advento tecnológico, no meio da década de 1980 os computadores ficaram potentes o suficiente para trabalhar com grande quantidade de arquivos e imagens, dando origem a computadores baseados em sistemas fotogramétricos independentes de implementações ópticas e mecânicas. A nova fase, chamada Fotogrametria Digital é baseada em princípios básicos: hardware avançado para processar imagens, software fotogramétrico com implementações matemáticas com os modelos analíticos previamente estabelecidos e conhecimento para implementar e usar o software.

Por virtude das inovações que aconteceram ao longo do tempo, e a crescente necessidade de adquirir informações espaciais confiáveis otimizando os processos já existentes a fotogrametria teve subdivisões de acordo com o ponto de tomada da foto e o objeto. A

Fotogrametria aérea ou Aerofotogrametria as fotos são feitas por uma câmara de precisão montada na aeronave, em contrapartida, a Fotogrametria Terrestre é utilizada quando as fotografias são tomadas de uma posição fixa ou móvel do terreno, já a espacial compreende todos os casos de fotografias ou imagens extraterrestres e as medições subsequentes, onde a câmara estiver fixada na Terra, na Lua, em um planeta ou em um satélite artificial, e pôr fim a Fotogrametria a curta distância tem uma proximidade maior entre a câmara e o objeto a ser fotografado.

Recentemente, com o advento das ARP e a disponibilidade de sensores multiespectrais que podem ser embarcados nestas plataformas mudou a forma de como a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto podem atuar e agora tem-se uma variabilidade de aplicações em especial na engenharia, agricultura e meio ambiente. Por meio de imagens obtidas por câmaras aéreas convertidas em ortofotos, pode-se extrair informação espacial acurada que poderá ser usada como referência para análises espaciais. Dentre as aplicações no campo da engenharia, por exemplo, tais imagens podem ser usadas como um instrumento para projetar rodovias por meio de um caminamento fotogramétrico, analisar cursos d'água, uso da terra, limites de zonas úmidas, ferrovias, mapeamentos topográficos, auxiliar em estudos de viabilidade de drenagem, dimensionamento de bueiro ou pontes, estudos de alternativas de traçados, curvas de nível, alteração de grid de estradas, estudos topográficos, e outros.

Algumas aplicações potenciais da Fotogrametria e Sensoriamento Remoto relacionadas à atividade agrícola são:

- Mapeamento das áreas agrícolas;
- Monitoramento de culturas agrícolas;
- Estimativa de área de culturas;
- Estimativa de produtividade;
- Mapeamento de áreas de irrigação (pivô);
- Fiscalização de crédito agrícola;
- Detecção de estresse em plantas;
- Agricultura de precisão.

4.5 Aeronave remotamente pilotada (ARP)

De acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (2015): uma RPA (*Remotely Piloted Aircraft* / em português, Aeronave Remotamente Pilotada) é uma

aeronave não tripulada e, assim como um aeromodelo também segue regras específicas que a diferem daqueles. Na operação de uma RPA o piloto não está a bordo, mas controla sua aeronave remotamente de uma interface qualquer (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto, etc.). A chamada RPA, enfim, é a terminologia correta quando nos referimos a aeronaves remotamente pilotadas de caráter não-recreativo.

Com o passar dos anos e com o avanço das tecnologias, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS/ARP dentre outras denominações utilizadas) sofreram consideráveis evoluções, e a sua popularização tem aumentado de modo significativo a sua área de atuação, acarretando em maior variabilidade de produtos oferecidos, além do aumento no número de adeptos.

O primeiro *drone* surgiu por volta dos anos 60, criados pelo Engenheiro Espacial israelita Abe Karem, porém foi na década de 80 que começaram a chamar a atenção. Inicialmente os veículos aéreos não tripulados foram desenvolvidos com o intuito de serem utilizados para fins militares, por exemplo, para reconhecimento de terrenos, o qual permitia uma visão aérea da área de interesse para fins de espionagem entre outros.

Atualmente as atividades fins para quais os RPA, popularmente chamados de *drone* foram criados, continuam a serem executados, porém outras aplicações surgiram, entre elas a agricultura de precisão, inventário florestal, cadastro técnico, tendo como destaque a geração de ortoimagens, mapas temáticos, modelo digital do terreno (MDT), modelo digital da superfície (MDS) entre outras.

Na literatura podem ser encontrados vários estudos que utilizaram VANT na área agrícola com sucesso. Alguns exemplos como no mapeamento do vigor da plantação (PRIMICIERO et al., 2012); extração de índices de vegetação a partir de imagens obtidas por VANT (ZARCO-TEJADA et al., 2008); monitoramento de culturas como trigo (LELONG et al., 2008, HUNT et al., 2010), milho e soja (HUNT et al., 2010); mapeamento de plantas daninhas, falhas na irrigação e fertilização, e identificação de áreas com frutos em diferentes estádios de maturação (HERWITZ et al., 2004); inventário de caracterização, detecção de estresse (EHSANI et al., 2012) e detecção de mudanças (XIANG e TIAN, 2011).

Diante do exposto os produtos obtidos dos instrumentos instalados nos VANTs podem fornecer informação para atividades que envolvam a tomada de decisão, assim como, a Agricultura de Precisão é uma delas, pois necessita muitas vezes de um resultado rápido sobre as condições da plantação, assim, o uso de ARP pode trazer benefícios para a agricultura.

4.5.1 Legislação atual

A legislação do Brasil segue as leis impostas pelo DECEA, organização responsável pelo controle do espaço aéreo brasileiro, e criada pelo Decreto nº 3.954, de 5 de outubro de 2001 e controlada pelo comando da Aeronáutica (COMAR).

Segundo o DECEA (2017, p. 09): “A presente Instituição tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao Espaço Aéreo Brasileiro por Sistemas ARPs”.

“É de competência do DECEA, Órgão Central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), legislar acerca os procedimentos para acesso ao Espaço Aéreo, cabendo aos demais Órgãos Regularizadores o trato do assunto das respectivas áreas de atuação”. (DECEA, 2017, p. 09)

Outro órgão responsável pela segurança da aviação civil é a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a qual tem por atividades a certificação, fiscalização, normatização e representação institucional.

Para a realização de voo experimental, é necessário que se tenha o CAVE (Certificado do Voo Experimental), o qual pode ser entendido de acordo com a ANAC (2012, p. 04) como: “Certificado de aero navegabilidade que pode ser emitido de acordo com a seção 21.191 do RBAC 21 para RPA experimental com os propósitos de pesquisa e desenvolvimento, treinamento e/ou pesquisa de mercado”.

O Certificado de Voo Experimental é emitido segundo as orientações da Instrução Suplementar Nº 21- 002, Revisão A, da ANAC. Já a operação de ARPs está ligada às exigências do DECEA, da Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e do Ministério da Defesa ou do Comando da Aeronáutica.

A solicitação do Certificado de Autorização de Voo Experimental é feita pelo requerente à ANAC por intermédio de carta e com base no requisito 21.193(d) do Regulamento Brasileiro Da Aviação Civil que trata de utilização de aeronave para realização de experiências.

Segundo a (ANAC, 2009, p. 43), a carta de requerimento do CAVE deve conter os seguintes requisitos:

- 1) Os objetivos da experiência;
- 2) O tempo estimado ou número de voos requeridos pela experiência;
- 3) As áreas sobre as quais os voos de experiência serão conduzidos; e

4) Um desenho das três vistas ou fotografias do avião, com escala dimensional, nas três vistas, exceto para aeronaves convertidas a partir de um tipo previamente certificado e que não tenha sofrido apreciável modificação na configuração externa.

Mais informações, favor consultar o sítio do DECEA (<https://www.decea.gov.br/drone/>) e a Normativa ICA 100-40.

4.6 Resoluções das imagens aéreas e orbitais

Sendo de grande importância a resolução radiométrica, temporal, espacial e espectral, pode-se caracteriza-las como:

- Radiométrica: capacidade que o sensor tem de diferenciar o nível de energia que o alvo pode emitir, refletir ou espelhar para o sensor.
- Temporal: frequência com a qual a imagem ou cena de um mesmo local é tomada, obtida; refere-se à frequência a qual ocorre a passagem do sensor num mesmo local em um dado intervalo de tempo.
- Espacial: é a representação da menor feição que pode ser detectada pelo sensor, a resolução espacial pode ser obtida através de um cálculo, segundo Novo (2010) primeiro calculado diâmetro da amostra e então o *Istantaneous field of view* (IFOV) equações 1 e 2:

$$D = H * \beta \quad (1)$$

D: diâmetro da amostra;
 H: altura da plataforma (m);
 β : campo de visada (radianos);

$$IFOV = \frac{D}{f} \text{ radianos} \quad (2)$$

IFOV: *Istantaneous field of view* ;
 f: distancia focal;
 D: diâmetro da amostra.

- Espectral: quantidade de faixas espectrais e da sensibilidade do sensor em distinguir os níveis de intensidade; a espectralidade é a energia refletida pelo alvo ao longo de uma região em um dado comprimento de onda.

No âmbito deste trabalho, as três resoluções, mais a resolução temporal, são de grande importância para o estudo da detecção, evolução e comportamento das pragas da cultura cafeeira.

4.6.1 Comportamento do alvo

A reflectância mede o comportamento espectral da vegetação, mede a reação da radiação em diferentes modos de ocorrência da vegetação em relação a iluminação do ambiente, sempre podendo ser distinguido de outro tipo de objeto (NOVO, 2010).

Segundo Novo (2010) a reflectância bidirecional é uma das grandezas radiométricas mais utilizadas para caracterizar o comportamento espectral de alvos naturais, e a reflectância difusa pressupõe a radiação incidente e refletida em todas as direções, dada pela equação 3:

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i} \quad (3)$$

ρ : reflectância;

Φ_i : fluxo radiante incidente;

Φ_r : fluxo radiante refletido.

Novo (2010) diz que o comportamento espectral da vegetação se modifica ao longo de seu ciclo, podendo ser afetado pela arquitetura do dossel e pelo tipo do substrato. Para avaliar o comportamento radiométrico do cafeeiro são necessárias análises dos parâmetros agrônômicos que são variáveis biofísicas que remetem a propriedades fisiológicas particulares da vegetação, dentre tais parâmetros têm-se a biomassa, porcentagem de cobertura vegetal, índice de área foliar (IAF) e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (MARTINS, 2016).

4.6.2 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica é um processo necessário para produzir imagens multiespectrais e hiperespectrais que forneçam informações que estejam de acordo com o referencial radiométrico conhecido e comparável. Portanto, quando se deseja obter dados com

qualidade radiométrica é de grande importância a realização da calibração radiométrica (MORIYA, 2015).

Uma imagem multiespectral constitui um conjunto de cenas tomadas simultaneamente de uma mesma área, obtidas por um sensor que registra a radiação eletromagnética em diferentes intervalos espectrais (SARTORI et al, 2009).

De acordo com Cramer et al. (2010) é importante o desenvolvimento de estudos relacionados com as características radiométricas dos sistemas de calibração de referência, equipamentos de medição radiométrica *in situ* e a realização de campanhas de calibração radiométrica em diferentes ambientes ou condições.

Como exemplo de pesquisa no segmento de calibração radiométrica tem-se Hakala et al. (2010) que realizaram um experimento para obter o fator de reflectância bidirecional de uma região da superfície terrestre utilizando uma câmara de pequeno formato embarcada em um ARP. Os resultados obtidos pelos autores demonstraram a possibilidade de se realizar medições precisas a partir dessa câmara, desde que seja realizado o procedimento de calibração. Cramer (2005) reforça a relevância da calibração, especialmente no caso de câmaras não-métricas, devendo ser considerados na calibração os efeitos geométricos e radiométricos.

Os requisitos fundamentais das principais aplicações fotogramétricas são dados com alta precisão geométrica, resolução espacial elevada, estereoscópica e alta eficiência (HONKAVAARA et al., 2009). Além disso, o sensor pode sofrer influências da iluminação do ambiente e, por isso, as imagens devem ser corrigidas para obter imagens com radiometria adequada (HONKAVAARA et al., 2008).

4.6.3 Índice de vegetação

A difusão de imagens orbitais e de ferramentas de processamento digitais tornou o uso de geotecnologias um item praticamente obrigatório em estudos de avaliação de vegetação com aplicações para área ambiental e agricultura. Os índices de vegetação constituem-se em operações algébricas envolvendo faixas de reflectância específicas que possibilitam a determinação da cobertura vegetal e a sua densidade. Do inglês para *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) que em uma tradução livre significa Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, pode ser calculado pela equação 4.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (4)$$

NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

NIR: Banda no infravermelho próximo

RED: Banda na cor vermelha

Desta forma, as aplicações do NDVI na agricultura são inúmeras, por exemplo:

- Monitoramento de culturas;
- Detecção de secas;
- Localização de pragas;
- Estimativas de produtividade;
- Modelagem hidrológica;
- Mapeamento de culturas.

A partir do NDVI e outros índices de vegetação pode-se otimizar a fertilização das plantações, pois é possível inferir o conteúdo substancial de nutrientes antes que alteração do nível de clorofila das plantas, ou seja, a mudança na pigmentação seja visível a olho nu (NOVO 2010).

Não somente, é possível executar estudos temporais das lavouras realizando uma análise que permite rastrear a variabilidade da saúde e desenvolvimento da plantação, indicar regiões com deficiência nutricional, contribuir com a identificação de anomalias na cobertura vegetal causadas por plantas daninhas e evidenciar manchas no solo provocadas por nematoides ou outras pragas para preconizar ações preventivas.

Desta forma, o monitoramento periódico de lavouras alimenta estudos com informações fundamentais para a identificação de falhas na vegetação e são indispensáveis para determinar as condutas que devem ser adotadas para as soluções destes problemas.

O NDVI varia de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação e que o valor zero se refere aos pixels não vegetados, uma variante do NDVI, é utilizada para identificar diferentes taxas de concentração de clorofila na vegetação, visto que, a banda verde é mais sensível para detectar níveis nutricionais de uma plantação (NAVARRO, 2015). Esse índice é muito utilizado no início do período de uma safra, onde os níveis nutricionais são variados.

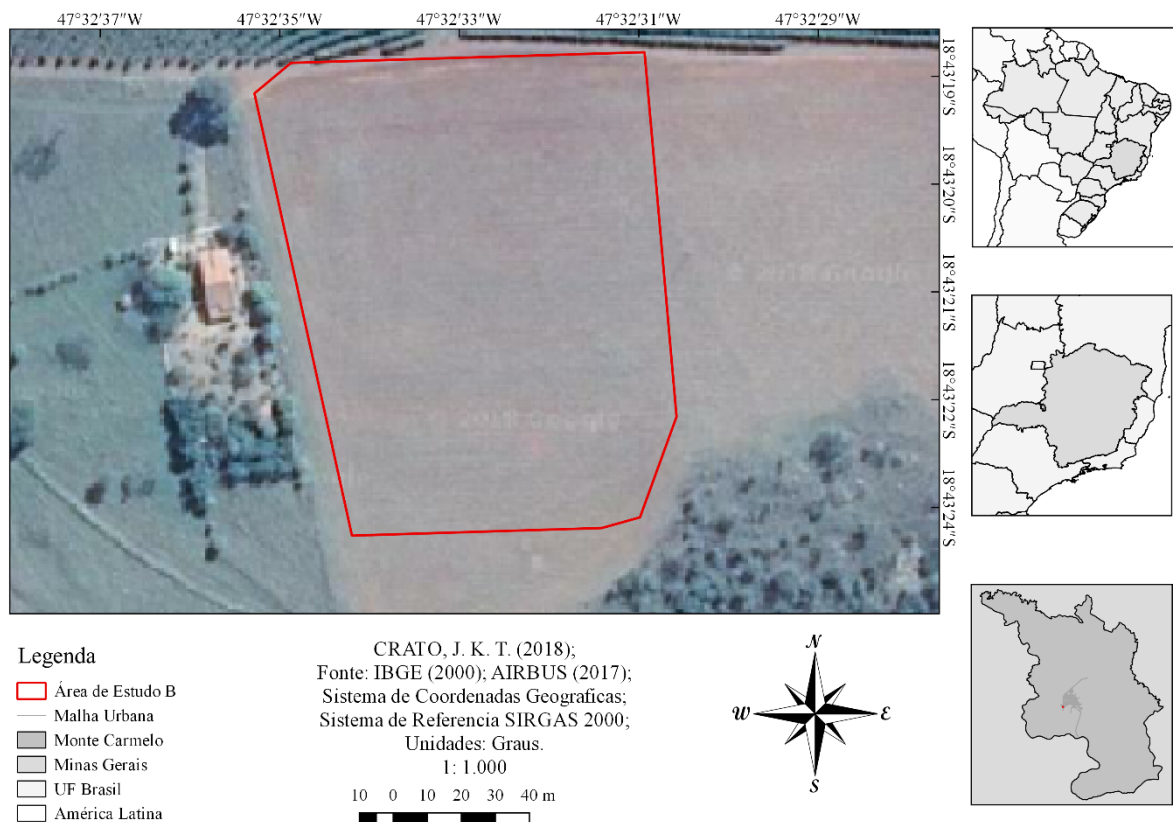
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização das áreas de estudo

Este estudo foi realizado na Fazenda Araras localizada no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, entre as coordenadas 18°43' S e 47°33' W (Figura 3).

Na primeira área, o talhão continha aproximadamente 300 m² de área com as seguintes características: cultivar do tipo Paraíso em primeira safra, tendo aproximadamente três metros de espaçamento entre ruas e no momento da tomada de fotos a plantação possuía cerca de dois anos e meio de idade; com solo do tipo LATOSSOLO VERMELHO; o talhão encontra-se em área de vegetação nativa característica do Cerrado; a área pertencente ao relevo planalto central da bacia do Paraná, pertencente à bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

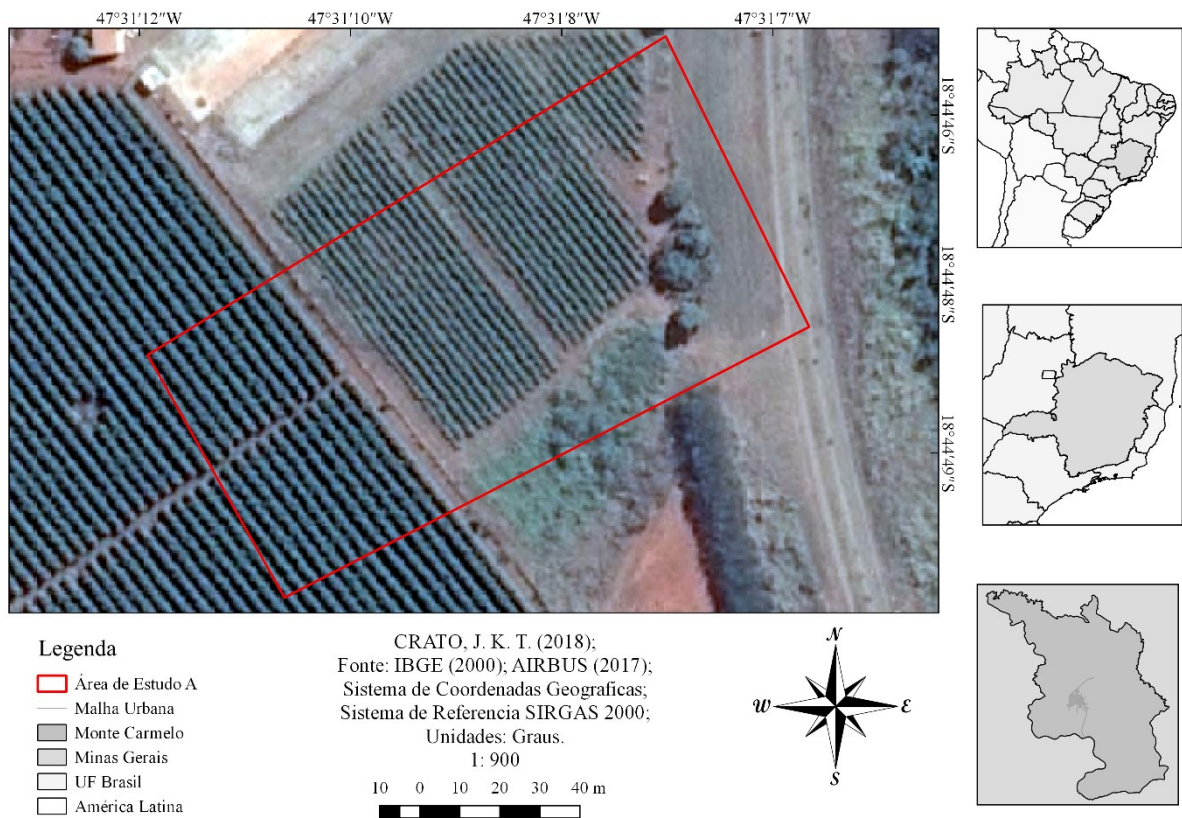
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo A



Fonte: A Autora.

Na segunda área (Figura 4), há um talhão com cafeeiro infestado onde não há indícios de qualquer tipo de manejo por parte do proprietário, como aplicação de defensivos ou trato cultural.

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo B



Fonte: A Autora.

5.2 Phantom 4 Advanced

O phantom 4 advanced é uma aeronave projetada e construída para se adaptar facilmente as mais diversas aplicações profissionais, especialmente, inspeções aéreas em áreas restritas e de difícil acesso. O sistema *Flight Autonomy* equipado no aparelho evita choques frontais com obstáculos. A fabricante assegura um voo estável pela junção do sistema duplo de orientação por satélite (GPS e GLONASS) e dispositivos ultrassônicos.

Equipado com uma câmera de 20 megapixels com sensor de 1 polegada e obturador mecânico, então é capaz de gravar vídeos em formato 4K a 60 quadros por segundo. Na prática, isso significa que o *Phantom 4 Advanced* também pode voar e pairar com precisão em lugares

fechados e sem acesso a orientação satélite, mesmo em situações complexas agravadas por barreiras (Figura 5).

Figura 5 - Phantom 4 advanced



Fonte: A Autora.

5.2.1 Câmaras Canon NGB e Mapir 3

No levantamento dos dados para melhor avaliação foram utilizados dois sensores multiespectrais sendo eles uma câmara Canon NGB (Figura 6), que é uma câmara Canon S110 HS modificada para bloquear a luz vermelha e gravar luz infravermelha próxima acima do comprimento de onda de 700 nm (Figura 7).

Figura 6 - Câmara Canon NGB



Fonte: A Autora.

Figura 7 - Folhagem do cafeeiro coletada com a câmera NGB



Fonte: A Autora.

Câmara Mapir (Figura 8) que foi desenvolvida especialmente para utilização em mapeamentos e principalmente para agricultura de precisão e meio ambiente. Com sensor de 16MP e a lente não-fisheye permitem capturas de imagens em plataformas aéreas não tripuladas rotativas ou asa-fixa. A MAPIR Survey 3 RED+NIR possui dois espectros, vermelho e infravermelho próximo, possibilitando uma serie de cálculos diferenciados para o NDVI, SAVI, NDWI, entre outros.

Figura 8 - Câmara Mapir

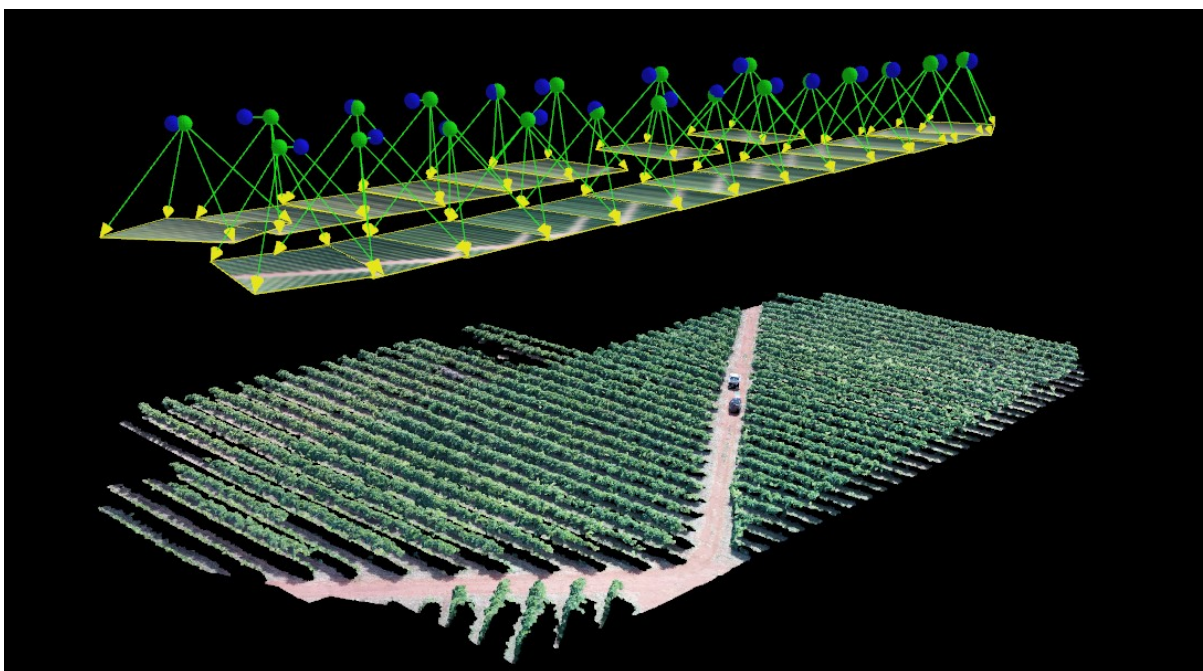


Fonte: A Autora.

5.2.2 Pix4D

O Pix4Dmapper é uma solução para converter milhares de imagens aéreas, tiradas por UAV em mosaicos 2D georreferenciados e modelos de superfície 3D e nuvens de pontos. São customizáveis, e complementam uma ampla gama de aplicações nas áreas de: fotogrametria, construção, monitoramento ambiental, agricultura, mineração (Figura 9).

Figura 9 - Nuvem de pontos gerada com uso do Software Pix4D



Fonte: A Autora.

5.3 Planejamento, coleta e manipulação de dados

Planejamento de voo ainda em laboratório, seguida pela visita ao campo realizando dois voos por vez, para melhor recobrimento da área de estudo evitando que haja perdas devido a sombras ou arrastes, e o processamento em laboratório.

Após a tomada das fotos foi feito o refinamento das informações pertinentes ao estudo, sendo assim necessário passar as imagens por realce e classificação, tanto as imagens no infravermelho próximo quanto as imagens no RGB.

Foram usadas imagens no RGB para localização e detecção da presença da injúria que responde de melhor forma no visível e as imagens no infravermelho próximo para detecção do

bicho-mineiro que altera a quantidade de água presente na folha, deixando assim a folha mais seca.

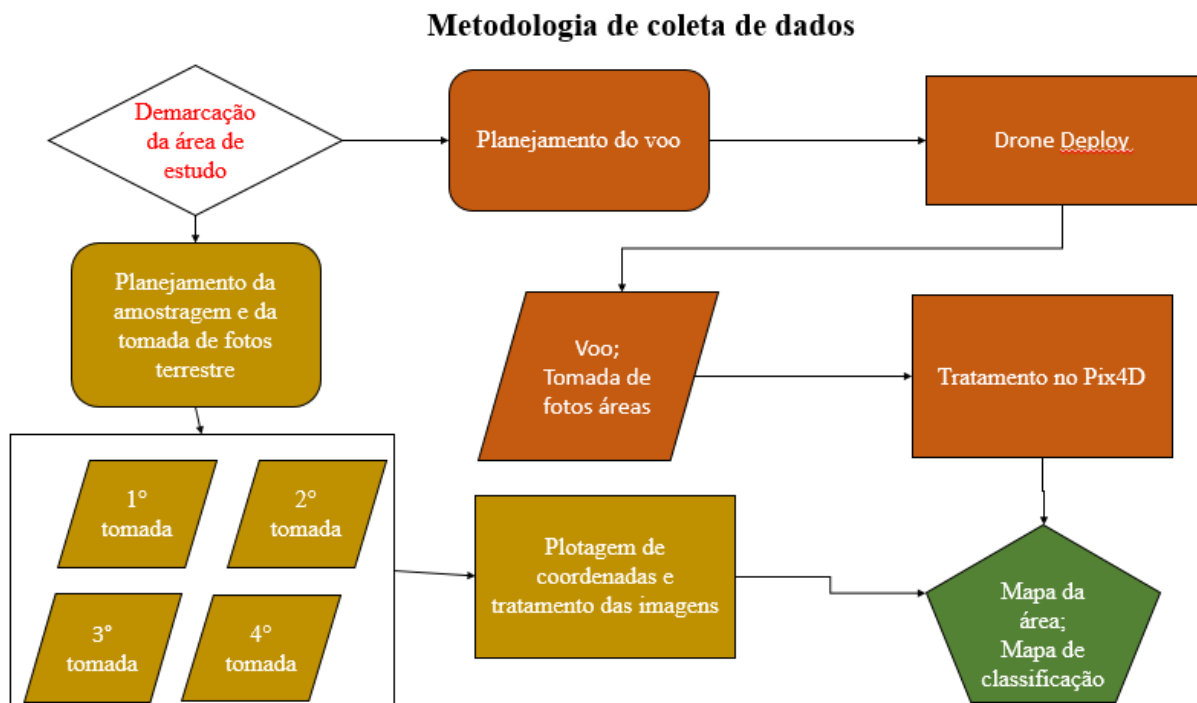
O trabalho foi dividido em três fases, sendo dessas duas de coleta de dados.

Na primeira fase foram feitas as tomadas de fotos terrestres pela aluna Laura Souto onde a amostragem foi definida de forma a qual fossem escolhidas três plantas por rua para a toma de fotos e coleta de coordenadas com intervalo de 10 a 15 dias de diferença entre cada coleta, de forma aleatória, para evitar que uma mesma planta fosse amostrada mais de uma vez no decorrer da área, que corresponde a aproximadamente 100 m por 10 ruas com espaçamento de três metros entre cada rua.

Na segunda fase também de coleta de dados, foi realizado o planejamento do voo, levando em consideração que a área de amostragem é relativamente pequena, considerou-se um GSD de 1 cm de pixel, para altura de voo de 33 m e tempo estimado para coleta em nove minutos (Figura 10).

Na terceira e última fase foi realizado o processamento computacional das imagens coletadas nas etapas anteriores.

Figura 10 - Metodologia usada para coleta de dados

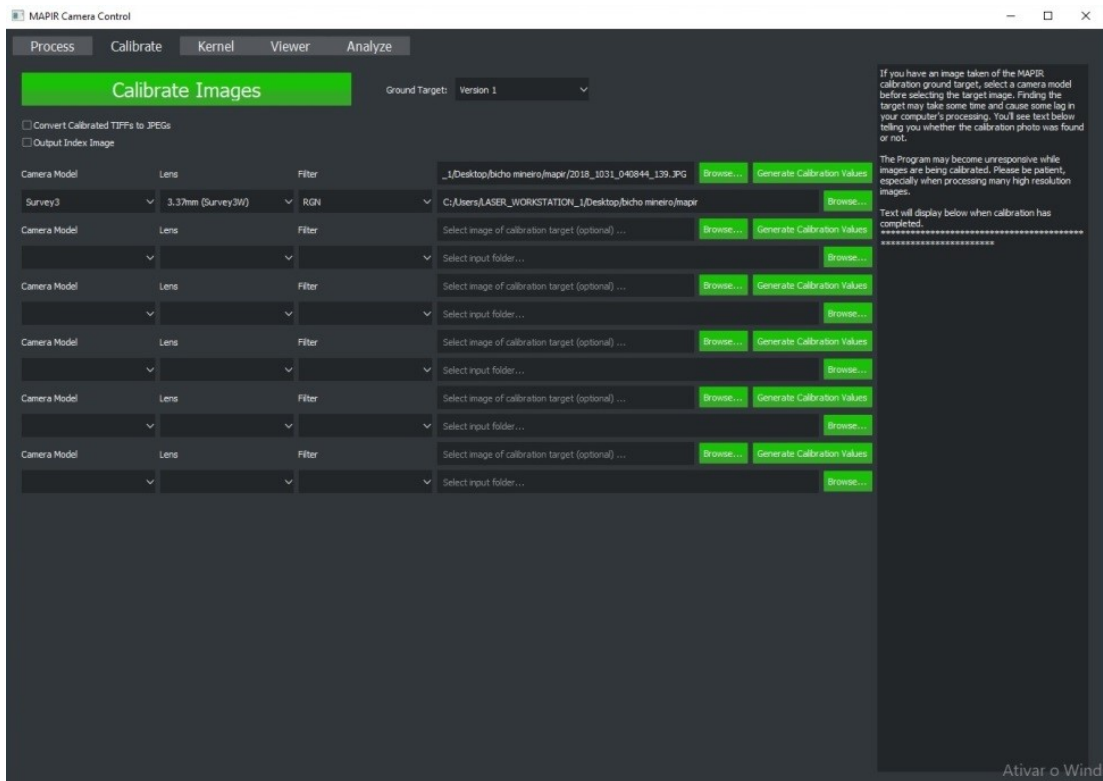


Fonte: A Autora.

5.3.1 Processo de calibração da Mapir

O processo de calibração (Figura 11) foi realizado utilizando os alvos nas cores branco, preto, vermelho, verde e azul, implantados em pontos estratégicos que possibilitariam ser identificados nas imagens, assim, sendo possível a realização da calibração radiométrica pelo Software MAPIR Câmera Control. Como descrito no manual de utilização desse software, sendo preferível que fosse feito a mosaicagem das imagens não calibradas, e posteriormente calibrar o mosaico, devido a possíveis falhas que podem ocorrer no processo.

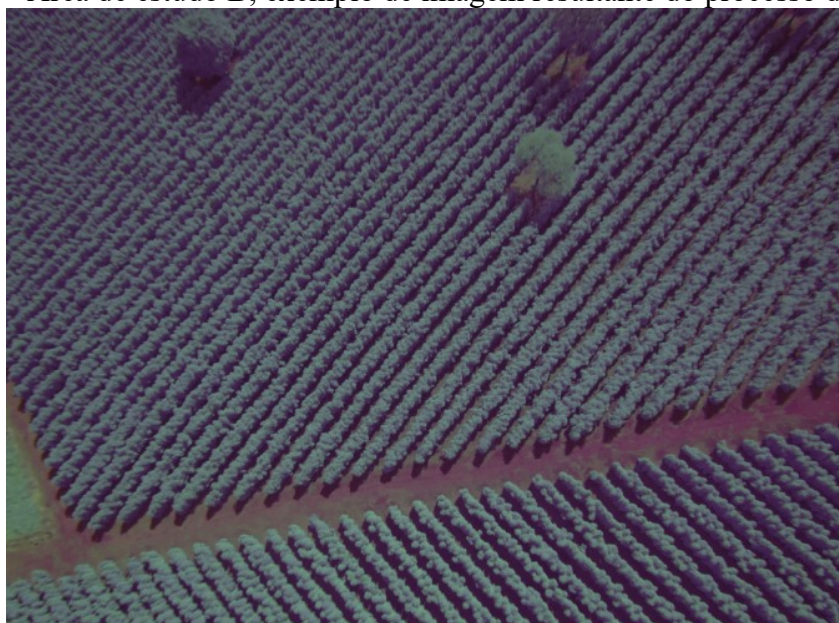
Figura 11 - Processo de calibração imagens coletadas no voo



Fonte: A Autora.

Essa etapa foi totalmente automatizada e realizada apenas para a imagem RGN, o qual a única intervenção do operador foi selecionar o arquivo, o modelo da câmera e o filtro RGN. O método consistiu em detectar, em cada banda envolvida, as regiões mais claras (com alta intensidade e baixa saturação) e as mais escuras (com baixa intensidade e alta saturação). E se tratando dos alvos, o alvo preto dispõe do valor máximo e o branco do valor mínimo, e quando utilizado outra cor, esta seria o valor máximo quando analisada perante o alvo branco, e quando analisada perante o alvo preto, seu valor seria o mínimo na imagem.

Figura 12 – Área de estudo B, exemplo de imagem resultante do processo de calibração



Fonte: A Autora.

5.3.2 Planejamento da cobertura aerofotogramétrica (Plano de voo)

O planejamento da cobertura aerofotogramétrica ou comumente chamada de planejamento do voo foi selecionar e calcular os elementos para a elaboração do mapa de voo afim de orientar a equipe durante a cobertura aerofotogramétrica. Essa etapa foi crucial para obtenção de um resultado que atenda aos requisitos de qualquer trabalho de obtenção de imagens fotogramétricas.

Nessa etapa foi feito a Cobertura Aerofotogramétrica que consiste em fotografar toda a área a ser levantada empregando-se câmara fotográfica especialmente desenvolvida para esse fim e conduzida a bordo de uma aeronave preparada para esse tipo de trabalho.

O sucesso do projeto fotogramétrico depende da boa qualidade do voo e das imagens resultantes;

- Os períodos ideais para fotografias aéreas são restritos;
- Falhas da etapa de coleta causam atraso em todo o projeto;
- O plano de voo gera dois documentos:
- O mapa de voo que pode ser eletrônico (Figura 13);
- Especificações dos parâmetros: Câmara a ser utilizada, escala da foto, altura de voo, superposição longitudinal e lateral, tolerância de inclinação.

Figura 13- Mapa de voo elaborado para uma das áreas de estudo



Fonte: A Autora.

5.3.3 Processos computacionais ou fotogramétricos

A geração dos produtos fotogramétricos foi realizada no software Pix4D. As imagens advindas do *Phantom 4* já se encontram com as coordenadas do centro perspectivo imputadas no cabeçalho da imagem facilitando o fluxo de trabalho no software para obtenção dos modelos digitais de elevação e de terreno e consequentemente da ortofoto.

5.3.4 Investigação de anomalias ou padrões que representam os problemas investigados nas imagens da cultura cafeeira via processamento digital de imagens

As imagens utilizadas são classificadas como de alta resolução espacial. Para algumas tomadas de decisões é sabido que essa resolução auxilia. Para algoritmos classificadores existentes na maioria dos softwares possa ser que a resposta obtida das feições presentes na cena possa responder como falso positivo, confundindo o classificador.

Nessa etapa, foram usadas abordagens computacionais existentes na forma de pacotes conhecidos como o Quantum GIS que possui um módulo para classificação de imagens. Os índices de vegetação existentes foram utilizados assim como técnicas de reconhecimento de

padrões para tentar obter respostas precisas para a hipótese desse trabalho. Neste caso o NDVI foi aplicado de forma a ressaltar as áreas investigadas.

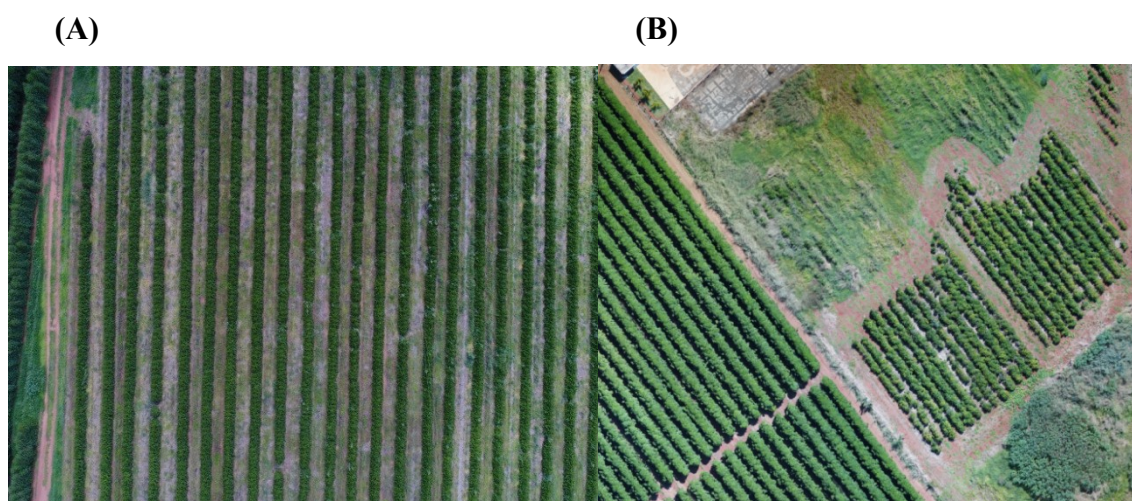
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as imagens coletadas utilizando-se os sensores embarcados na aeronave e também terrestres, sendo essas imagens tomadas no terço inferior do cafeeiro, alguns processamentos foram realizados e alguns resultados obtidos. Os mesmos são mostrados a seguir levando em conta a natureza do sistema de coleta (aéreo ou terrestre) e o tipo de câmara utilizado (infravermelho próximo ou visível).

6.1 Imagens aéreas coletadas com câmara visível e infravermelho próximo

Analisando as imagens coletadas no espectro do visível das áreas utilizadas no estudo, percebe-se que por análise visual das imagens aéreas, somente a área (A) vista a seguir (Figura 14) onde o proprietário não realizou tratos culturais percebe-se que há pontos de falhas visíveis quando comparado ao cafeeiro na área (B), onde foi adotado o manejo da lavoura.

Figura 14 - Imagem visível das áreas de estudo, (A) Fazenda Araras e (B) Fazenda Santa Vitoria



Fonte: A Autora.

Quando observamos as imagens terrestres tiradas na cultura (A) que mostram as plantas em estado diferente das da cultura B, conforme a Figura 15 apresenta.

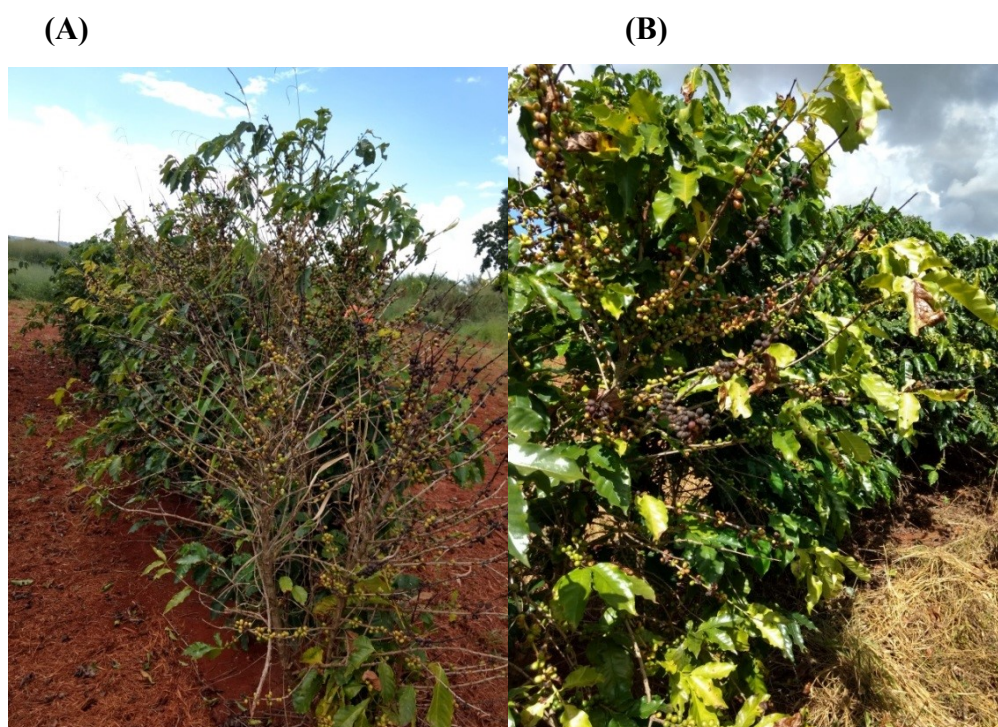
Figura 15- Imagem visível da área de estudo (A)



Fonte: SOUTO, 2018. ¹

Nas imagens tiradas com câmara no espectro para a área (B) é possível comprovar o estado do cafeeiro, conforme Figura 16.

Figura 16- Reboleiras com desfolha possivelmente causadas pelo bicho-mineiro na área (B)
Fazenda Santa Vitoria



Fonte: A Autora.

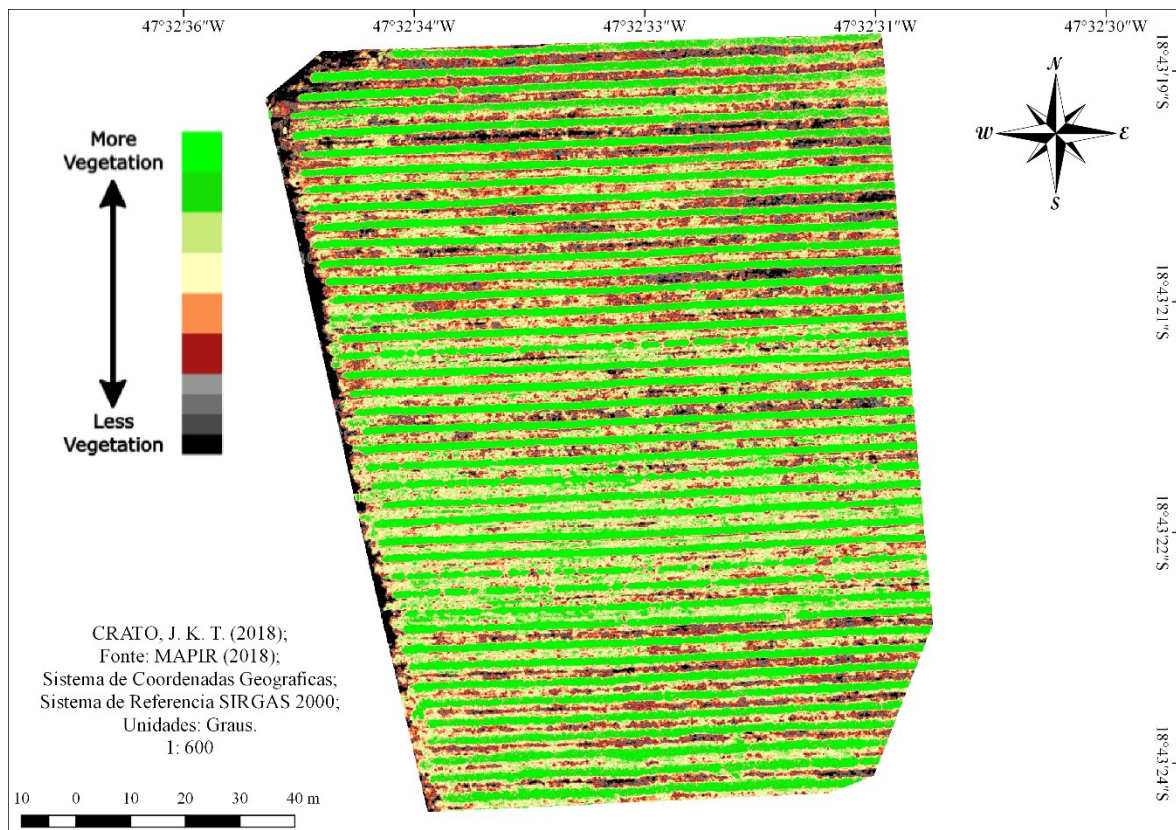
¹ Imagem coletada em colaboração com pesquisa em andamento, com publicação prevista para 2019.

O bicho-mineiro, *L. coffeella* reduz a capacidade fotossintética da planta pela destruição e queda das folhas. Os sintomas são mais visíveis na parte alta da planta, onde há grande desfolhamento, quando o ataque é intenso.

Em relação à área (A), onde é feito o tratamento fitossanitário e manejo adequado (Figura 15), e por imagens aéreas (Figura 14) constatou-se há não de pragas, provavelmente sobre controle, enquanto para a área (B) tanto por imagens aéreas (Figura 14) quanto por terrestres (Figura 16) percebe-se anomalias possivelmente causadas pelo bicho-mineiro, *L. coffeella*.

Na área (A) o índice de vegetação comporta-se de maneira mais uniforme, não havendo evidências de que esteja ocorrendo desfolha pelo ataque do bicho mineiro, *L. coffeella* ou qualquer outro sintoma de sua presença (Figura 17).

Figura 17- NDVI da área de estudo (A)

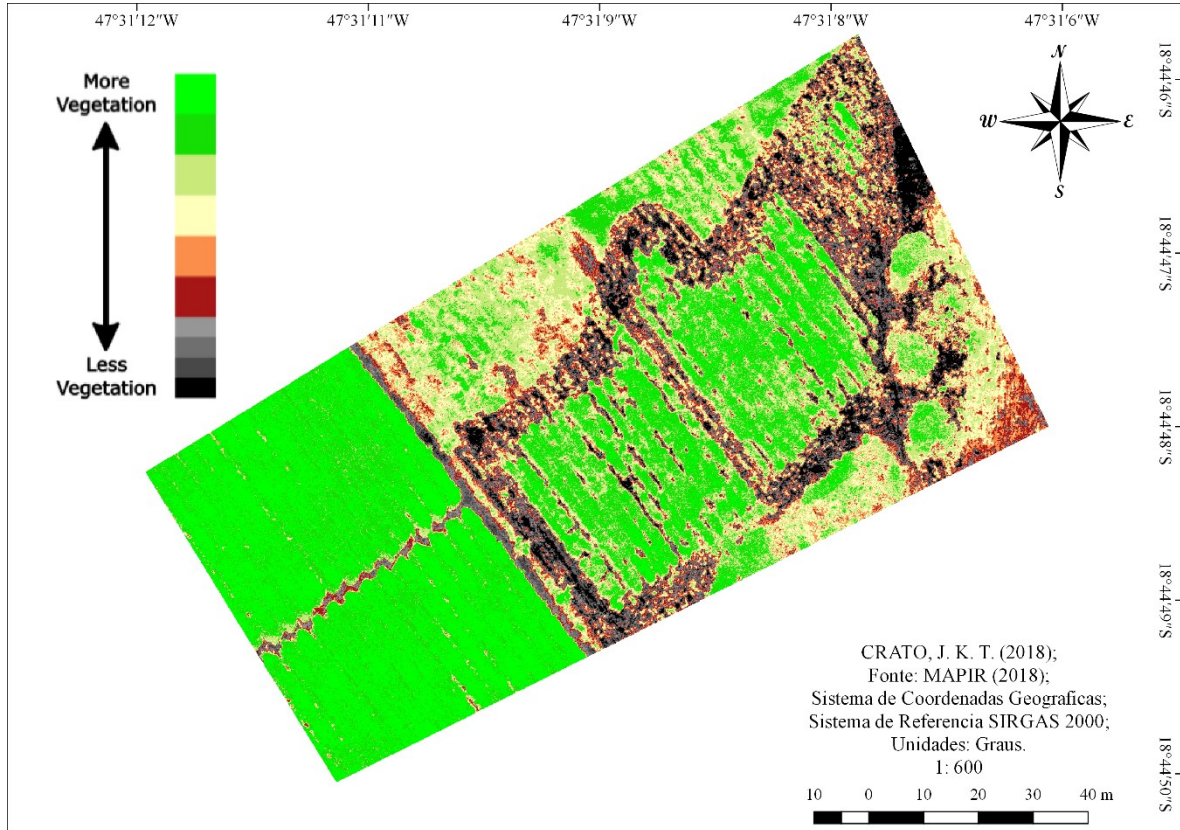


Fonte: A Autora.

Através do índice de vegetação gerado pelo software da Mapir para a área (B), percebe-se uma diferença nítida nas áreas de vegetação densa, supondo assim que essas estejam saudáveis, para com as áreas não densas que ao serem analisadas em conjunto com as imagens

no visível percebe-se serem áreas as quais há presença de solo exposto e plantas em processo de desfolha (Figuras 18).

Figura 18- NDVI da área de estudo (B) gerado pelo software da Mapir



Fonte: A Autora.

6.2 Imagens terrestres coletadas com câmara visível e infravermelho próximo

Foram obtidas imagens terrestres com câmera a fim de simular o mesmo ponto de vista de um analista ou agrônomo. A ideia de proceder com a tomada de fotos nessa perspectiva deve-se também pela questão de lavouras onde são feitos controles, os sintomas como a desfolha da parte alta da planta não são visíveis mascarando a existência da praga no cafezal.

Figura 19 - Imagem terrestre coletada na área de estudos (A), presença de mina nas folhas
(A) (B)



Fonte: SOUTO, 2018. ¹

Nas Figuras 19, 20 e 21 foram tomadas fotos com a câmera Canon NGB para posterior análise das mesmas para verificar a possibilidade de uso na detecção das injúrias causadas nas folhas.

Figura 20 - Imagem terrestre coletada na área de estudos (A), presença de mina nas folhas
(A) (B)



Fonte: SOUTO, 2018. ¹

¹ Imagem coletada em colaboração com pesquisa em andamento, com publicação prevista para 2019.

Figura 21 - Imagem coletada com a câmara Canon NGB



Fonte: A Autora.

Por meio das imagens coletadas, percebeu-se que as mesmas não trazem ganho na identificação do bicho-mineiro quando o ataque está no estágio inicial (Figura 22), mas quando há a desfolha do ponteiro e amarelecimento das folhas, sintomas causados por nematoide, *Meloidogyne javanica* (Tylenchida), (Meloidogynidae), por exemplo, as imagens deste tipo de sensor captam estes sintomas, conforme imagens (Figura 23, 24, 25 e 26).

Figura 22 - Imagem coletada com câmara Canon NGB



Fonte: A Autora.

Figura 23 - Reboleira com possível presença de nematoide



Fonte: A Autora.

Figura 24 - Reboleira com possível presença de nematoide



Fonte: A Autora.

Figura 25 - Reboleira com possível presença de nematoide



Fonte: A Autora.

Figura 26 - Reboleira com possível presença de nematoide, detectada a partir da imagem área



Fonte: A Autora.

7 CONCLUSÃO

O ARP se mostra uma ferramenta de grande valia para monitoramento da cultura cafeeira, para detecção do bicho-mineiro, *L. coffeella* em áreas com grau de infestação avançado onde há sintomas de desfolha na lavoura é possível detecção utilizando imagens aéreas. No entanto para áreas onde o grau de infestação não está avançado e o sintoma da desfolha não é presente recomenda-se que com as imagens em mãos seja feita uma verificação *in-loco* por um especialista, para tomada de providenciais.

As imagens aéreas não apresentam respostas satisfatória em áreas com presença de bicho-mineiro, *L. coffeella* que já passem por tratamento, onde há já ocorre o controle e manejo do bicho-mineiro, *L. coffeella*, a metodologia tomada de fotos terrestres a partir do caminhamento entre a lavoura funciona melhor, por ser possível detectar a presença da injúria na parte central da planta.

Para refino da metodologia é necessário investimento na obtenção de um espectroradiometro equipamento esse capaz de medir luminância muito baixas e com

capacidade de reduzir o ruído que o sinal do sensor deixa, para tentativa de desenvolvimento de uma assinatura espectral, para as imagens terrestres coletadas recomenda-se aumentar resolução dos sensores de coleta assim como desenvolvimento algoritmo para detecção automática ou semiautomática das injurias.

REFERÊNCIAS

ANAC. **Certificação de produto aeronáutico:** Regulamento brasileiro da aviação civil rbac nº 21 emenda nº 00. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/participacao-social/audiencias-e-consultas-publicas/audiencias/2009/aud31/rbac-21-anexoresolucao.pdf>>. Acesso em: 29 outubro 2017.

ANAC. **Emissão de certificado de autorização de voo experimental para veículos aéreos não tripulados.** 2012. Instrução suplementar - is nº 21-002 revisão a. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?Sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahukewi00mhw2ffuahuglpakhvt9cqeqlggmmaa&url=http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-002a/@/@display-file/arquivo_norma/is%2021-002a.pdf&usq=afqjcnfeoop8pyjzfb4f2xnmp15zj5qqha>. Acesso em: 29 outubro 2017.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** Curitiba. Sbee, 1998, p 258.

BERNARDI, A. C. de C. et al. **Agricultura de precisão:** Resultados de um novo olhar. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Embrapa. Brasília –df. 2014.

BRASIL. **Governo digital.** Notícias. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/01/cafe-brasileiro-responde-por-31-3-da-producao-global>>. Acesso em: 12 de nov. De 2017.

CAMARGO, A. P. **Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeiras) do brasil.** Pesquisa agropecuária brasileira, v. 20, n. 7, p. 831–839, 1985.

CONCEIÇÃO, C. H. C. **Biologia, dano e controle do bicho-mineiro em cultivares de café arábica.** Dissertação (mestrado) – instituto agrônômico. Campinas, sp, p. 105 2005.

CRAMER, M. *Digital airborne cameras-status and future. In: proceedings isprs workshop: high resolution earth imaging for geospatial information. Hannover: university of hannover, mar 17-20, 2005, 8p.*

CRAMER, M.; GRENZDÖFFER, G.; HONKAVAARA, E. *In situ digital airborne camera validation and certification- the future standard? In: isprs commission i meeting, Calgary, jun 15-18, 2010.*

DECEA. **ICA 100-40 sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro.** 2017. Departamento de controle do espaço aéreo. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?I=publicacao&id=4510>>. Acesso em: 29 maio 2017.

DECEA. **Voos de RPAS (DRONES).** Entenda a nova legislação do DECEA! 2015. Departamento de controle do espaço aéreo. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?I=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=voos-de-rpas-drones-entenda-a-nova-legislacao-do-decea>. Acesso em: 28 jul. 2017.

EHSANI, R. et al. *Affordable multi-rotor remote sensing platform for applications in precision horticulture. In: 11 the international conference precision agriculture, jul 15-18, 2012, Indianapolis*

FORÇA AÉREA. **Força aérea esclarece normas para voos de DRONES no Brasil:** segurança aérea. 2015. Defesa e segurança. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/defesa-e-seguranca/2015/03/forca-aerea-esclarece-normas-para-voos-de-drones-no-brasil>>. Acesso em: 27 outubro. 2017.

GOMARASCA, M. A. *Basic of geomatics.* Springer.2004.

GUIMARÃES, R. J. et al. **Semiologia do cafeeiro sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Universidade federal de lavras. 2010.

HAKALA, T.; SUOMALAINEN, J.; PELTONIEMI, J. **Acquisition of bidirectional reflectance factor dataset using a micro unmanned aerial vehicle and a consumer camera**. *Remote Sensing*, n. 2, 2010, p. 819-832.

HERWITZ, S.R. et al. **Imaging from na unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support**. *Computers and electronics in agriculture*, n. 44, 2004, p.49-61.

HONKAVAARA, E. **Calibrating digital photogrammetric airborne imaging systems using a test field**. *Doctoral thesis of science in technology. University of technology*, 2008, 72 p. (isbn 978-951-711-276-5)

HONKAVAARA, E. et al. **Digital airborne photogrammetry- a new tool for quantitative remote sensing? - a state-of-the-art review on radiometric aspects of digital photogrammetric images**. *Remote sensing*, n.1, 2009, p. 577-605

HUNT JR., E. R. et al. **Acquisition of nir-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring**. *Remote sensing*, n. 2, 2010, p. 290-305.

IBGE. **Instituto brasileiro de geografia e estatística**. Produção agrícola municipal, volume 43, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_br.pdf>. Acesso em: 08 de nov. De 2017.

LELONG, C. C. D. et al. **Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots**. *Sensors*, n.8, 2008, p. 3557-3585.

MANTOVANI, E. C.; MAGDALENA, C. **Manual de agricultura de precisión**. Programa cooperativo para el desarrollo tecnológico agroalimentario y agroindustrial del cono sur. P 174. 2014.

MARTINS, G. D. **Caracterização espectral e espacial de áreas infestadas por nematoides e *Migdolus fryanus* em cultura canavieira**. Dissertação (mestrado). Presidente Prudente – SP, p 115, 2013.

MARTINS, G. D. **Inferência dos níveis de infecção por nematoides na cultura cafeeira a partir de dados de sensoriamento remoto adquiridos em multiescala**. Tese (doutorado). Presidente Prudente – SP, p 125, 2016.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia agrícola. Santa Maria: Universidade de Santa Maria, p102, 2007.

MENESES, R. P.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília. 2012, p 186.

MESQUITA, C. M. et al. **Manual do café: distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Belo horizonte: emater-mg, 2016. 62 p. II.

MORIYA, E. A. S. **Identificação de bandas espectrais para detecção de cultura de cana-de-açúcar sadia e doente utilizando câmara hiperespectral embarcada em vant**. Tese (doutorado). Presidente Prudente – SP, p. 147, 2011.

MULLA, D. J. **Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps**. *Biosystems engineering*, n. 114, 2013, p. 358-371.

NAVARRO, J. D. et al. **Índices de vegetação para imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados**. X SBIAGRO, congresso brasileiro de agroinformatica. Ponta grossa. 2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicação**. 4ªed. São Paulo: blucher, 2010.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. **Sensoriamento remoto aplicado a agricultura de precisão no cultivo de bambu**. Universidade presbiteriana Mackenzie (UPM). Revista Mackenzie de engenharia e computação, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016. Disponível em:<<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/viewfile/9972/6662>>. Acesso em: 02 de dez de 2017.

PIX4D. **Try pix4dmapper**. Disponível em:<<https://pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>>. Acesso em: 05 de out de 2017.

PRIMICIERO, J. et al. A **flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture**. *Precision agriculture*, n. 13, 2012, p. 517-523.

RAMME, F. L.P.; MARTELLO, M. **Estudo preliminar de técnicas em processamento digital de imagem para smartphone e índices de vegetação GRVI, MGRVI, RGBVI na agricultura de precisão**. Universidade tecnológica federal do paraná – campus de dois vizinhos. Congresso de ciência e tecnologia. 2017, dois vizinhos-pr. Disponível em:<http://revistas.utfpr.edu.br/dv/index.php/cct_dv/article/view/1722/958>. Acesso em: 30 de nov de 2017.

RODRIGUES, F.; ALVES, P.; GIL, E. O. Alterações desafios do manejo no controle de doenças do café. *Visão agrícola*, v. 12, p. 4, 2013.

RUDORFF, B. F. T. et al. **Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04**. *Agricultura em São Paulo*, v. 52, n. 1, 2005, p. 21-39.

RUDORFF, B. F. T. et al. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo state (Brazil) using landsat data**. *Remote sensing*, n. 2, 2010, p. 1057-1076.

SARTORI, L. R.; GALO, M. L. B. T.; IMAI, N. N. **Mapeamento de plantas daninhas em cultura de café a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes usando redes neurais artificiais**. *Revista brasileira de cartografia*. 2009.

SEVERINO, L. S. et al. **Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*coffee arabica l.*“catimor”)**. *Acta scientia rum. ...*, v. 24, n. 5, p. 1467–1471, 2002.

SILVA, F. M.; ALVES, M. C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: ed. Ufla, p 227, 2013.

SILVA, R. R. **Aplicação de imagens orbitais de alta resolução espacial no cadastro técnico rural Multifinalitário**. Porto Alegre. UFRGS. 2007.

SOUZA, A. F. **Monitoramento das principais doenças e pragas do cafeeiro**. *Café Point*. 2007. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnica-de-producao/monitoramento-das-principais-doencas-e-pragasdo-cafeeiro-3507n.aspx>>. Acesso em: 30 de nov de 2017.

XIANG, H.; TIAN, L. **Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)**. *Elsevier Biosystems engineering*, n. 108, 2011, p. 174-190.

ZARCO-TEJADA, P. J. Et al. **A new era in remote sensing of crops with unmanned robots**. *Spie*, 2008, 3 p.