



MARCO THULIO ANDRADE

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO ÍNDICE
VEGETAÇÃO MPRI (MODIFIED PHOTOCHEMICAL REFLECTANCE
INDEX) APLICADO ÀS IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO**

LAVRAS- MG

2019

MARCO THULIO ANDRADE

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO ÍNDICE
VEGETAÇÃO MPRI (MODIFIED PHOTOCHEMICAL REFLECTANCE
INDEX) APLICADO ÀS IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências
Curso de Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 19 de Junho de 2019

Professor Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Professor Ms. Diogo Tubertini Maciel

Ms. Luana Mendes dos Santos

Ms. Diego Bedin Marin

Orientador

Gabriel Araújo e Silva Ferraz

LAVRAS - MG

2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pela força, saúde e sabedoria para superar mais um desafio e pelas bênçãos recebidas diariamente.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Engenharia (DEG), em especial ao setor de Máquinas e a equipe de pesquisa em Agricultura de Precisão, que me possibilitou realizar este trabalho.

Ao professor Gabriel Araújo e Silva Ferraz pelos ensinamentos transmitidos e harmonia na convivência, agradeço também por todo o apoio e crédito em mim depositado.

Agradeço a e coorientadora Doutoranda em Engenharia Agrícola Luana Mendes dos Santos, por me conceder uma grande parte do seu tempo, com suas orientações claras e objetivas, e sempre com muita paciência.

Aos demais presentes na banca, o Doutorando Diego Bedin Marin pela contribuição no desenvolvimento do trabalho, e ao professor do Departamento de Engenharia da UFLA Diogo Tubertini Maciel, pela parceria e disponibilidade da aeronave para a realização desta pesquisa.

Agradeço à minha mãe, Leila Andrade, pelo incentivo, por toda a torcida, apoio, amizade, companheirismo, compreensão e amor, que são essenciais para viver a vida. .

Aos meus amigos do Alojamento Estudantil da UFLA pela força e por me proporcionarem muitos momentos de alegria.

“Existe uma força mais poderosa que a eletricidade, o vapor e a energia atômica: A vontade.”

Albert Einstein

RESUMO

A agricultura de Precisão (AP) cada vez mais vem sendo utilizada como ferramenta de controle e auxílio na tomada de decisão em atividades de campo. A Fotogrametria aliada ao Sensoriamento Remoto destacam-se pela rapidez e qualidade dos dados obtidos, podendo ser utilizados nas mais diversas caracterizações de variáveis morfológicas. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade espacial e temporal do índice vegetação MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index) aplicado às imagens obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP- Remotely Piloted Aircraft) na cultura do cafeeiro. O experimento foi realizado em uma lavoura cafeeira do Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, onde foi utilizada a ARP, com câmera digital com resolução de 12 megapixels em cores verdadeiras (Red-R, Green-G, Blue-B). Para a captura das imagens, a altura de vôo foi padronizada a 30 m de altitude em relação ao solo, velocidade de deslocamento da aeronave constante de 3 m/s e sobreposição das imagens (Recobrimento Horizontal e Vertical) de 80/80 %. Para o processamento das imagens primeiramente foi utilizado o software PhotoScan, para construção e criação do ortomosaico como produto inicial para as análises. Posteriormente, para confecção dos mapas e aplicação do Índice de Vegetação MPRI, utilizou-se o software de geoprocessamento QGIS 2.18.21. Na aplicação do índice foi possível analisar a separação da cobertura vegetal e conclui-se que o mesmo distinguiu de forma satisfatória solo de vegetação. Também a partir da aplicação do índice MPRI foi possível observar a variação temporal e espacial correlacionando atividades reais desenvolvidas na área com o desenvolvimento vegetativo da cultura do café, assim como observar o comportamento de bienalidade da cultura por meio deste índice.

Palavras-chave: Sistemas Aéreos não tripulados, Agricultura de Precisão, Drone.

ABSTRACT

Precision agriculture (PA) is increasingly being used as a control tool and aid in decision making in field activities. Photogrammetry combined with Remote Sensing is notable for the speed and quality of the stored data, and can be used in the most diverse characterizations of the morphological variables. Therefore, this study aimed to analyze the spatial and temporal variability of the MPRI vegetation index (Modified Photochemical Reflectance Index), applied to the images obtained by Remotely Piloted Aircraft (ARP) in the coffee crop. The experiment was carried out in the Coffee Crop Sector of the Federal University of Lavras. It was used an ARP coupled with digital camera with resolution of 12 megapixels in true colors (Red-R, Green-G, Blue-B). In order to capture the images, the height of the flight was standardized at 30 m altitude related to the ground, aircraft speed of 3 m / s and image overlap (Horizontal and Vertical Overlap) of 80/80%. For the image processing, the PhotoScan software was used for the construction and creation of the orthomosaic as the initial product for the analyzes. Then, for mapping and applications of MPRI Vegetation Index, it was used QGIS 2.18.21 geoprocessing software. By the application of this index was possible to analyze the vegetation cover and to conclude that this method differentiate satisfactorily soil from the vegetation. It was also possible to observe the correlation between the material and the environment and the correlation between the physical activities and the coffee growing environment, as well as to observe the biennial behavior of the crop.

Keywords: Unmanned Aircraft Systems (UAS), Precision Agriculture, Drone.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Cafeicultura	9
2.2	Agricultura de Precisão	9
2.3	Sensoriamento Remoto	10
2.4	Aeronave Remotamento Pilotada (ARP)	11
2.5	Índice de Vegetação	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5	CONCLUSÃO	25
6	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A área total cultivada no país com café (arábica e conilon) totaliza 2,16 milhões hectares, área equivalente à cultivada em 2018 (CONAB, 2019). Ainda segundo dados da CONAB (2019), na atual safra a estimativa, devido a bienalidade produtiva, é que haja uma possibilidade de queda, tendo assim uma produção menor que aquela obtida em 2018, devendo alcançar 50,92 milhões de sacas beneficiadas, tendo como maior contribuição nesta produçãoo estado de Minas Gerais com certa de 26,4 milhões de sacas.

Ainda segundo a CONAB (2019), o monitoramento agrícola do café e a utilização de tecnologias vem com o objetivo contribuir com o fortalecimento da capacidade de produzir e divulgar previsões relevantes, oportunas e precisas da produção agrícola nacional. Esse monitoramento é feito com base em mapeamento das áreas de cultivo, que auxilia na quantificação da área plantada, no acompanhamento da dinâmica do uso do solo e na análise das condições meteorológicas, desde o início do florescimento até a conclusão da colheita.

Um problema constatado nas regiões produtoras de café refere-se à variabilidade espacial e temporal da produtividade das plantas, sendo muito comum, nas lavouras cafeeiras, plantas sem produção ao lado de plantas produtivas, bem como a bienalidade da produção, caracterizada pela variação de anos com alta e baixa produção (CARVALHO et al., 2004).

Mesmo as pesquisas estando no início, atualmente são numerosos os estudos que investigam a possibilidade de utilização de ARP com câmeras que captam o espectro da luz na região do visível, embora alguns autores como RANGO et al. (2006) e VON BUEREN et al. (2015) que investigaram o uso de imagens ARP para monitoramento de pastagem, sem no entanto abordar a relação de IVs e estimativa de crescimento da vegetação, e Li e Li (2014) que avaliaram o MPRI na produtividade do trigo no inverno e encontraram uma correlação aceitável com um índice de determinação (R^2) igual a 0,76.

O presente trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade espacial e temporal do índice vegetação MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index) aplicado às imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada na cultura do cafeeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

O café sempre foi sinônimo de progresso e contribuiu de maneira decisiva para a industrialização do país, sendo que, ainda hoje, é um dos produtos agrícolas mais importantes (CONAB, 2008). Por ser um produto importante para a economia brasileira, a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com baixo custo, sobre a extensão e o rendimento da cultura, são instrumentos valiosos que podem viabilizar um planejamento adequado para integração correta entre o mercado e a produção (LIU; LIU, 1988).

Conforme Zambolim (2001), o sucesso na cafeicultura ocorre em virtude de vários fatores, destacando-se a redução dos custos de produção, o aumento na produtividade, a busca constante de qualidade, a preservação do meio ambiente, a conquista de novos mercados consumidores e a definição de políticas agrícola para o setor cafeeiro.

Segundo Ippoliti-Ramilo et al. (1999) e Collares et al. (1993), a forma de obtenção de dados referente a cultura do café é utilizando informações municipais obtidas através da aplicação de questionários padrões a produtores, cooperativas e representantes de órgãos públicos e privados. Seguindo essa metodologia, são bastante suscetíveis a erros de análise humana, além de dificultar a estimativa da precisão dos dados e resultados obtidos. Outro problema relacionado à aquisição de dados da cafeicultura brasileira, segundo Duarte e Brito (2007), é o alto custo financeiro e de pessoal demandados pela metodologia utilizada atualmente. Por isso, é necessária a ampliação de pesquisas que permitam identificar, quantificar e qualificar as áreas com plantios de café de maneira mais rápida, precisa e com custos menores.

2.2 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão surge como um conjunto de tecnologias que são capazes de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias de manejo, que posteriormente podem ser adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento do processo de produção, podendo maximizar a rentabilidade das colheitas e reduzir os custos de aplicação de insumos, tornando a atividade mais competitiva (CARVALHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2007; SILVA; SOUZA; ALVES, 2008).

De acordo com Tschiedel e Ferreira (2002), a agricultura de precisão pode ser considerada como um amplo conceito, englobando tecnologias e novos conhecimentos de

informática, eletrônica, geoprocessamento, entre outros. Este conceito incorpora um grande número de conhecimentos científicos e alta tecnologia, apresentando ao produtor novos termos, conceitos, equipamentos e tecnologias.

Dentre as diferentes geotecnologias utilizadas na agricultura de precisão, a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto destacam-se pela rapidez e qualidade dos dados obtidos, como indica Volterrani (2003), que afirma que através de imagens orbitais é possível identificar espécies vegetais, calcular área foliar, biomassa, cobertura do solo ou ainda quantificar teor de nitrogênio, clorofila, água ou ainda deficiência nutricional.

Ainda na cultura do cafeeiro, há um campo muito vasto para ser aplicada e pesquisada a Agricultura de Precisão, não só pela sua importância para nosso país, mas também pelo alto grau tecnológico e o valor econômico das lavouras (BALASTREIRE et al., 2001).

Alves, Queiroz e Pinto (2006) introduzem o termo “Cafeicultura de Precisão” que é entendido como o emprego das técnicas de agricultura de precisão na produção de café. As características do solo da cultura variam no espaço (distância e profundidade) e no tempo. Assim a cafeicultura de precisão pode ser definida como um conjunto de técnicas que visa à otimização do uso dos insumos agrícolas (fertilizantes, corretivos, sementes e defensivos) em função da variabilidade espacial e temporal de fatores associados ao sistema água-solo-planta.

2.3 Sensoriamento Remoto

Estudos envolvendo culturas agrícolas por Sensoriamento Remoto (SR) e geoprocessamento, assim como a separação de culturas utilizando imagens de satélite vêm sendo realizados por diversos pesquisadores, dentre eles, Moreira et al. (2004), Sanches et al. (2005) e Borges et al. (2010), mostrando assim a aplicação dos dados de SR e Sistemas de Informações Geográficas na agricultura. Informações sobre a distribuição de culturas agrícolas e as características dos ambientes onde essas lavouras estão localizadas são de extrema importância, possibilitando estruturar e viabilizar planejamentos agrícolas adequados para a região produtora.

Para Epiphany et al. (2002), pesquisas relacionadas à identificação de culturas agrícolas utilizam em sua grande maioria imagens de sensores ópticos de média resolução, sendo, principalmente, provenientes dos satélites da série Landsat, cuja boa resolução espectral auxilia na distinção entre os diversos tipos de vegetação, porém sempre tendo como auxílio informações obtidas a campo para melhor precisão.

No tocante ao estudo da vegetação, observa-se que, ao longo dos anos, o SR tem obtido resultados expressivos enquanto provedor de informações. Esse sucesso é inerente à sua alta capacidade para subsidiar dados a respeito da interação planta e luz, conforme pode ser observado em Ponzoni e Shimabukuro (2010).

Nos últimos anos, a aquisição de dados de SR em nível aéreo tem sido reforçada pela recente popularização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), também identificados como Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), em português - Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas. O uso destas plataformas tem se mostrado de grande valia para o monitoramento da vegetação em geral. A Agricultura de Precisão é um dos setores/atividades beneficiadas por tal tecnologia, principalmente no acompanhamento das lavouras, incluindo monitoramento de falhas de plantio, pragas e produtividade (JORGE e INAMASU, 2014).

2.4 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

O grande avanço tecnológico permitiu a utilização de ARP para a coleta de imagens de pequeno formato com um custo relativamente baixo comparado com técnicas convencionais. O uso de imagens aéreas se apresentam como uma alternativa promissora visto que já são utilizadas na agricultura para mapeamento de culturas, avaliação de áreas cultivadas, e permitem a detecção de diversas deficiências (MOLIN, 2011).

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a prática da agricultura de precisão, baseado em coletas de imagens e técnicas fotogramétricas para avaliar Índices de Vegetação, representa um recurso rápido, econômico e confiável para o monitoramento de culturas (CANDIAGO et al., 2015), facilitando assim o monitoramento de uma maneira não destrutiva e em tempo real da vegetação (VON BUEREN et al., 2015).

As vantagens e facilidades oferecidas por ARPs em relação às plataformas convencionais utilizadas para imageamento de culturas é devido ao menor custo de aquisição, alta resolução espacial (cm) e temporal das imagens quando comparados a outros sistemas e sensores, como os satélites (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014), e por ser considerada uma ferramenta útil para o monitoramento de precisão no desenvolvimento de culturas, serve como base de dados para apoiar o produtor a otimizar o uso de recursos, realizar o controle de pragas e doenças além de acompanhar a produtividade (BALLESTEROS et al., 2014).

Linhares et al. (2014), ressaltam que o uso de imagens (RGB - Red, Green, Blue) obtidas por ARP, são importantes para o monitoramento da safra, em relação a variabilidade espacial e temporal do desenvolvimento vegetativo.

2.5 Índice de Vegetação

Os índices de vegetação são operações aritméticas aplicadas às bandas espectrais das imagens de SR, com o objetivo de realçar a presença ou vigor da vegetação (LIU, 2006; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). O mais conhecido dentre os Índices de Vegetação é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), proposto por Rouse et al. (1973), que se utiliza da relação antagônica do vermelho com o infravermelho para expressar as variações da vegetação. A escala do NDVI pode variar de -1 a 1, sendo que a resposta de áreas com vegetação é maior que 0, normalmente entre 0,2 e 0,8. Quanto maior o valor obtido no NDVI, maior a probabilidade do pixel ser referente a uma área com vegetação saudável.

As variações observadas ao longo da assinatura espectral da vegetação servem de base para a formulação de modelos matemáticos para a interpretação de alterações na dinâmica de desenvolvimento da mesma. Ponzoni e Shimabukuro (2010) explicam que a relação antagônica do comportamento da vegetação entre as regiões do vermelho e do infravermelho, por exemplo, faz de tais regiões ideais para composição dos chamados Índice de Vegetação.

Segundo Shiratsuchi et al. (2014) o NDVI é um índice muito utilizado para monitoramento agrícola, por apresentar forte correlação linear com o crescimento das culturas. Tucker (1977) estudou diferentes combinações lineares das bandas do verde, vermelho e NIR para monitorar propriedades como a biomassa, conteúdo de água na folha e conteúdo de clorofila.

Assim como o NDVI, existem outros diversos índices com combinações de bandas diferentes na literatura, alguns até que utilizam somente as bandas do visível (RGB). Yang et al. (2008), propõe, o índice MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), no qual é baseado na diferença normalizada entre duas bandas, porém, o mesmo utiliza as bandas da região do verde e do vermelho, sendo independente de uma banda do infravermelho. Se observado o comportamento da vegetação ao longo do visível (RGB) é possível verificar que a relação existente entre as bandas da região do verde e do vermelho é similar à relação existente entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho. Outro ponto além da boa relação do índice com o NDVI que justifica o uso do mesmo é o fato de utilizar bandas espectrais na faixa do visível, ou seja utiliza uma câmera com captura na banda RGB, o que faz com que a câmera tenha um menor custo de aquisição, viabilizando financeiramente a operação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área do Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, cultivada com café espécie *Coffea arabica L.*, cultivar Travessia no espaçamento de 2,60 x 0,60m com coordenadas geográficas, latitude 21°13'33.17"S, longitude 44°58'17.54" WGr. e 936 m de altitude. Os cafeeiros passaram pelo processo de poda (esqueletamento) na terceira semana de julho de 2016. Em 2017 não houve continuação dos tratamentos impostos de irrigação e fertirrigação e a colheita foi realizada em 23 de julho de 2018.

As imagens foram obtidas por uma Aeronave Remotamente Pilotada, modelo Phantom 3 Professional, com Sistema de Posicionamento Global (GPS) integrado e controle realizado por meio de um controle remoto e aplicativo compatível instalado em um smartphone. A aeronave possuía uma câmera digital acoplada em sua estrutura da marca Sony, modelo EXMOR 1/ 2.3'', com resolução de 12 megapixels em cores verdadeiras (Red-R, Green-G, Blue-B), e resolução radiométrica de 8 bits, lente 20 mm com abertura de f/2.8, com tamanho máximo de imagem de 4000 x 3000 pixels e Cartão SD para armazenamento das imagens.

Segundo Bater et al. (2011), as imagens de câmeras RGB são fortemente influenciadas por mudanças de iluminação horárias, diárias e sazonais, por isso durante o período de coleta foi padronizado entre as 12 h e 13 h, visando obter o período de maior luminosidade na área.

Os procedimentos a seguir foram realizados para 4 meses de coleta de imagens, sendo eles Julho de 2017, Dezembro de 2017, Julho de 2018 e Dezembro de 2018.

Para a captura das imagens foram realizados voos com altura padronizada a 30 m de altitude em relação ao solo, e com velocidade constante de deslocamento da aeronave de 3 m/s, tendo como valores de combinação de sobreposição das imagens (Recobrimento Horizontal e Recobrimento Vertical), de 80/80 %, conforme observa-se na Figura 1.

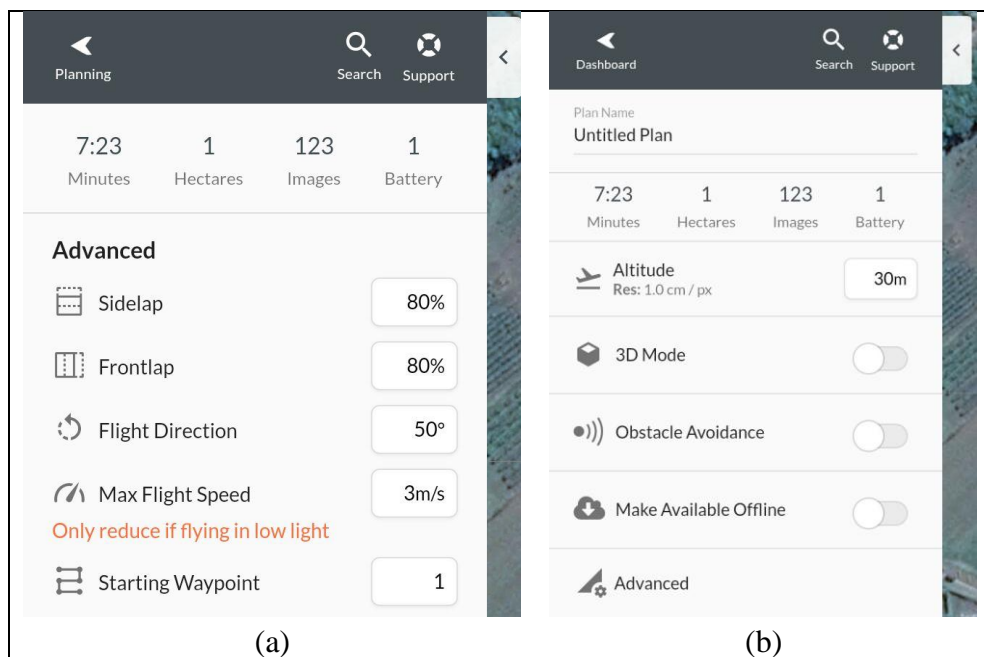
Figura 1- Layout plano de voo no aplicativo Drone Deploy instalado no smartphone.



Fonte: Do autor (2019)

Desta maneira, foram coletadas imagens utilizando o aplicativo, DroneDeploy, gratuito de controle e planejamento de voo (FIGURA 2).

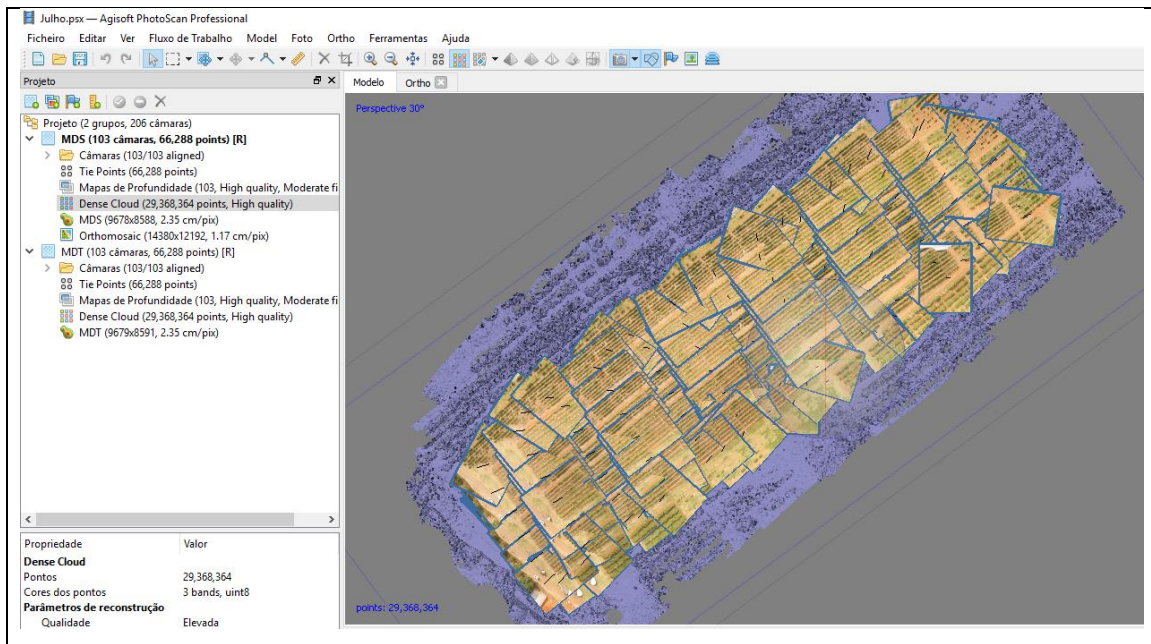
Figura 2 – Layout da página de parâmetro de vôo dentro do software DroneDeploy.



Fonte: Do autor (2019)

Posteriormente em escritório, para o processamento das imagens e conseqüentemente criação do ortomosaico, foi utilizado o software PhotoScan, que correlaciona e identifica as imagens a partir de pontos homólogos (FIGURA 3) formando uma nuvem densa de pontos.

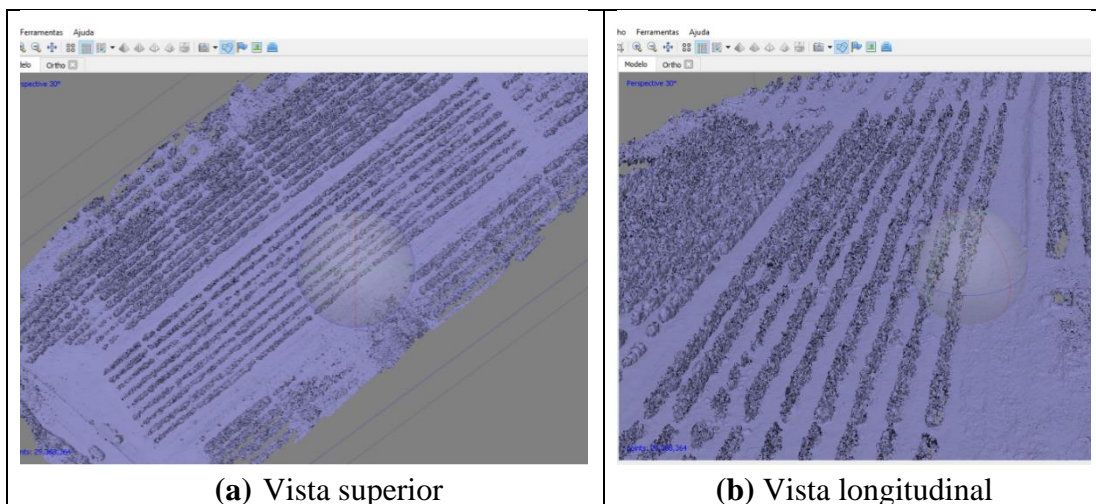
Figura 3 – Correlação e identificação de pontos homólogos nas imagens para formação da nuvem densa de pontos.



Fonte: Do autor (2019)

A partir da nuvem densa que pode ser observada na Figura 4, é possível a reconstrução do modelo e criação do ortomosaico como produto final que contém as informações da junção de todas as imagens.

Figura 4 – Nuvem densa de pontos.(a) Vista superior e (b) Vista longitudinal da área



(a) Vista superior

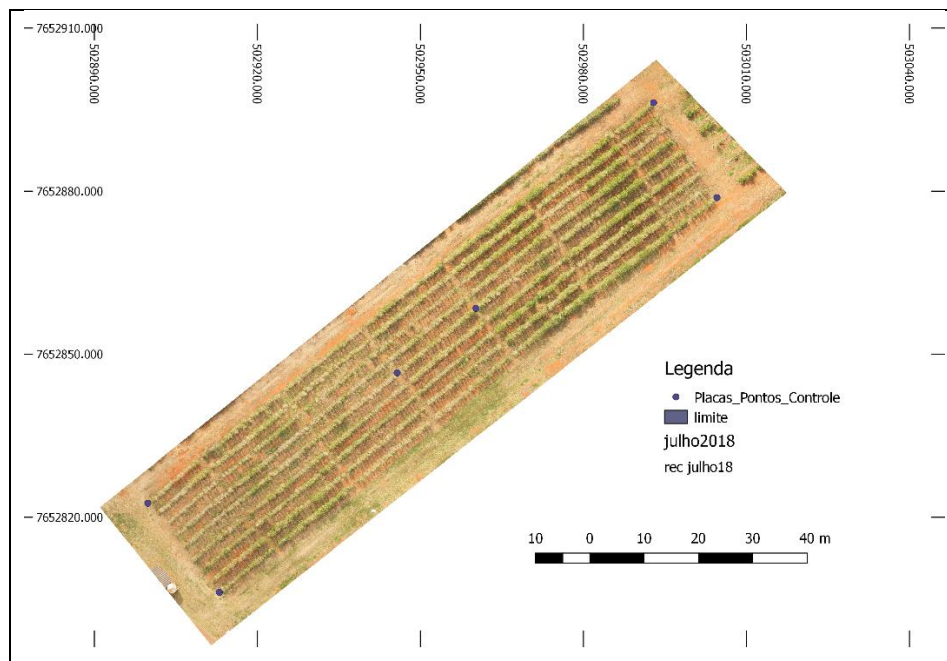
(b) Vista longitudinal

Fonte: Do autor (2019)

A partir da nuvem densa de pontos e dos processamentos anteriores, foi possível a elaboração do ortomosaico, produto gerado dentro do software Photoscan que une as imagens coletadas e analisadas em uma única imagem que contém todas as informações das demais. Para corrigir o georreferenciamento das ortofotos, georreferenciou os ortomosaicos no software de geoprocessamento QGIS 2.18.21 utilizando pontos de controle que foram colocados em campo antes de obter as imagens com a aeronave.

Tanto os pontos de controle como as plantas foram georreferenciados com GPS Geodésico. Após esse passo, e para maior agilidade de processamento efetuou-se recorte do ortomosaico (FIGURA 5) utilizando um arquivo shape afim de facilitar análise da área de interesse.

Figura 5 – Orthomosaico georreferenciado e cortado com auxílio de um arquivo shape.



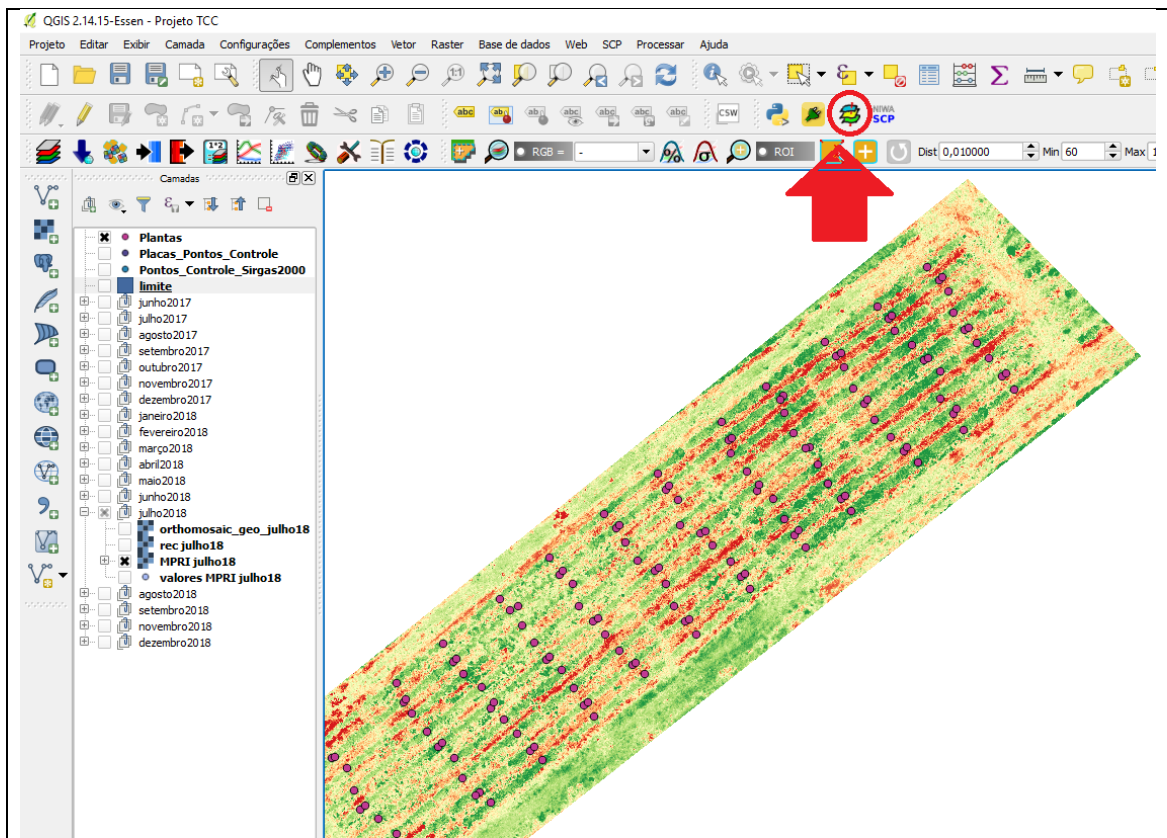
Fonte: Do autor (2019)

Posteriormente para confecção dos mapas e aplicação do Índice de Vegetação (IV) utilizou-se novamente o QGIS, em que por meio da função calculadora raster, calculou-se o índice MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), cujo cálculo é realizado através da Equação (1), sendo as siglas G e R representadas pelas bandas espectrais Green e Red respectivamente, com o intuito de realçar a cobertura verde da vegetação.

$$MPRI = \frac{(G - R)}{(G + R)} \quad (1)$$

Utilizou-se a ferramenta de geoprocessamento disponível no QGIS, point Sampling Tool, para extração dos valores de índice MPRI nos pontos de plantas cafeeiras, como pode ser visto na Figura 6. O índice de vegetação é apresentado em uma escala que varia de -1 a 1, tendo valores mais próximos do valor positivo como vegetação e valores baixos superfícies expostas ou com baixa cobertura vegetal.

Figura 6 – Extração dos valores do índice MPRI utilizando a ferramenta Sampling Tool no local das plantas observadas durante o experimento.



Fonte: Do autor (2019)

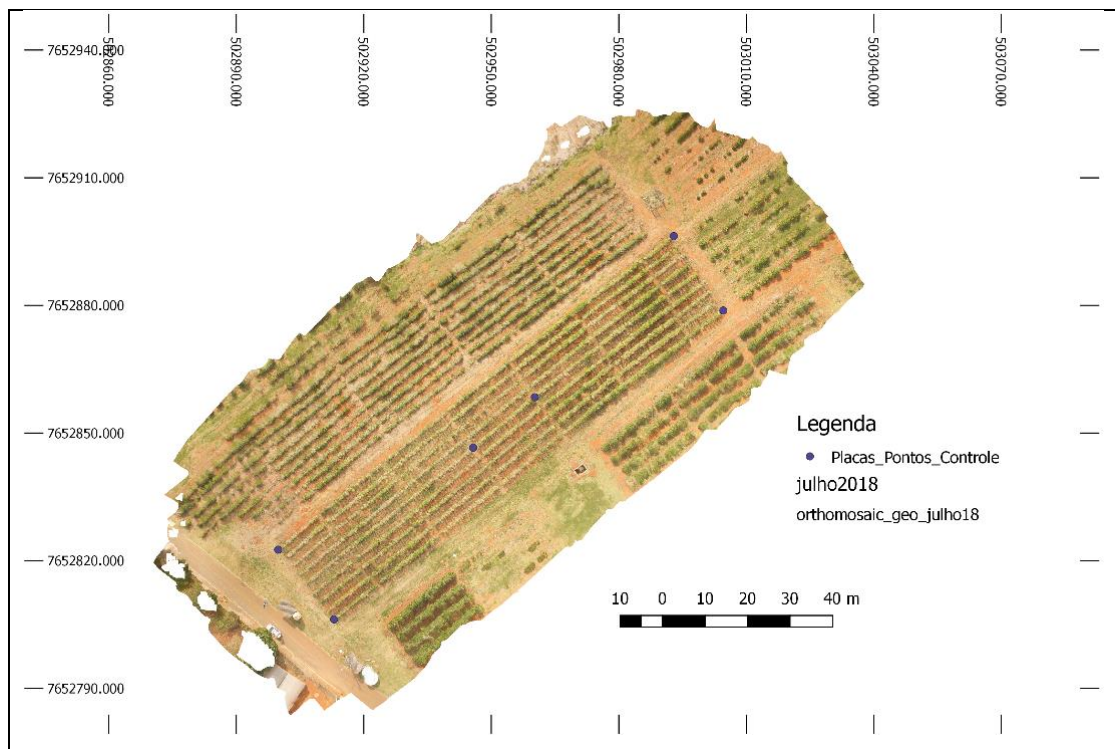
Com os valores de IV e utilizando o Excel calculou-se a média mensal, o mínimo, o máximo e o desvio dos valores de índice, e posteriormente fez-se a plotagem dos valores de IV em gráfico, dos meses de julho e dezembro de 2017 e julho e dezembro de 2018, para visualizar o comportamento do IV nestes meses de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro parâmetro a ser levado em consideração na utilização de ARP's nas coletas de informações da cultura em campo, é que ele coleta e observa a área de plantio de maneira a trazer dados que auxiliam na tomada de decisão e no monitoramento de maneira rápida e não destrutiva.

Observando a Figura 7 é possível analisar a qualidade da imagem e da riqueza de detalhes, obtendo uma precisão de pixel com valores inferiores a 1,5 cm/pixel. Outro ponto relevante é no tocante ao tempo de voo para os dados observados, na qual o tempo da ARP para executar o plano de vôo de coleta foi de pouco mais de 7 minutos. No tocante ao tempo de processamento, os resultados podem variar entre 4 horas e 30 minutos e 5 horas de tempo total, entre alinhamento das fotos, geração da nuvem de pontos, criação do ortomosaico e aplicação do índice.

Figura 7 – Ortomosaico georreferenciado e os respectivos pontos de controle



Fonte: Do autor (2019)

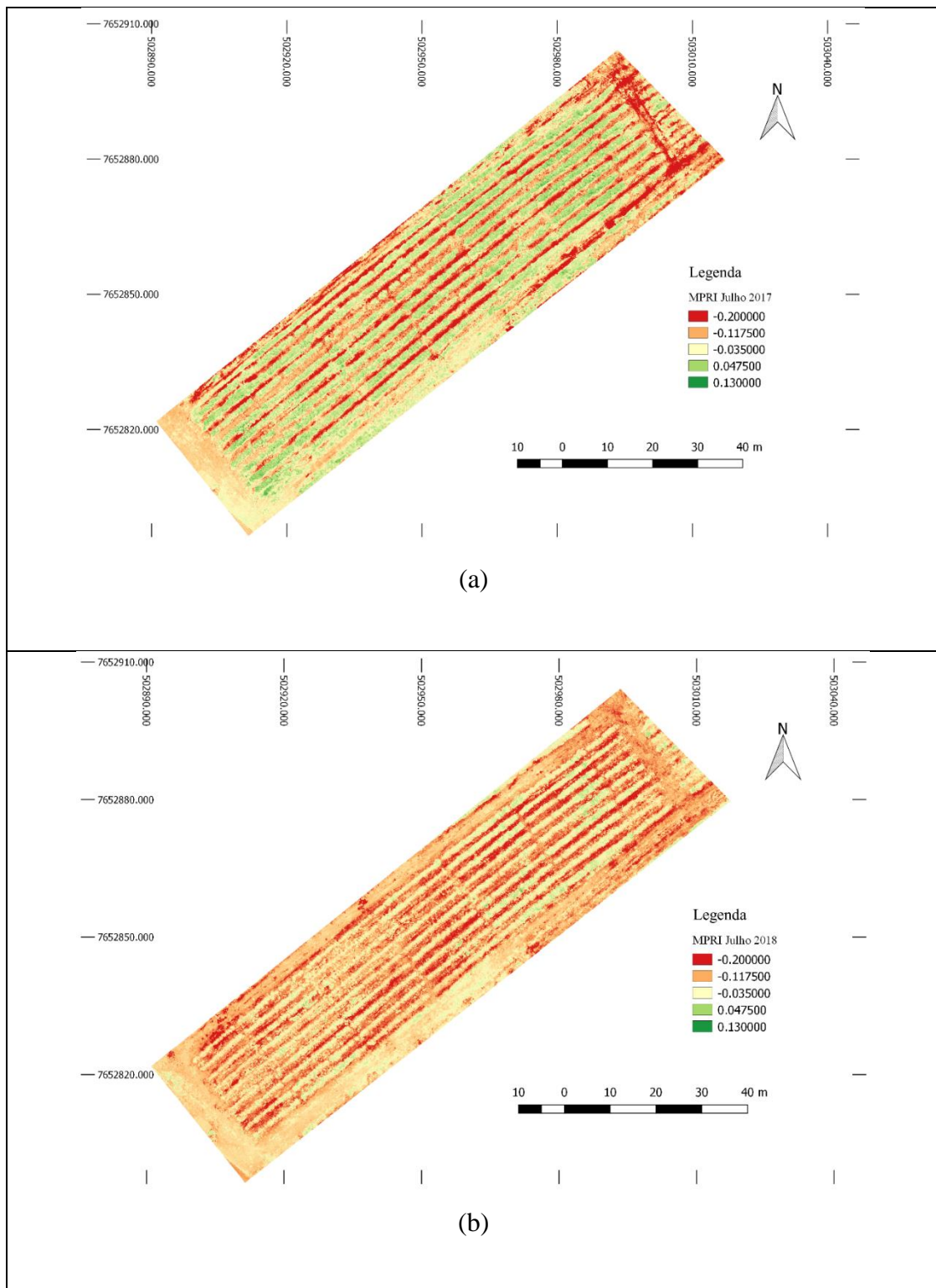
Foram gerados os mapas com os índices de vegetação dos 4 meses do projeto, para posteriormente análise da variabilidade espacial e temporal do MPRI.

Na Figura 8, está apresentado o resultado do índice na área para o mês de Julho nos anos de 2017 (a) e 2018 (b). A partir de uma análise visual, pode-se perceber a variabilidade espacial

da lavoura nestes dois meses em estudo. Observa-se que no ano de 2017 (Figura 8a) visualmente a vegetação do cafeeiro tem uma coloração verde mais intensa, o que indica um maior valor do índice MPRI em relação ao mesmo mês no ano de 2018. Tal observação pode ser correlacionada ao fato de o cafeeiro ter recebido uma poda do tipo esqueletamento em Julho de 2016, assim o cafeeiro entrou no seu período vegetativo. Esta resposta espectral do cafeeiro nesta fase vegetativa resultou em valores de índice maior neste período.

Com relação ao menor índice observado na Figura 8b, pode-se correlacionar ao fato da colheita do cafeeiro ter sido realizada em Julho de 2018, de maneira semi-mecanizada, com a utilização de derriçadoras portáteis. Segundo Bártholo e Guimarães, (1997), tanto a colheita mecanizada quanto a semi-mecanizada, apesar de maior eficiência operacional, causam danos e desfolha ao cafeeiro, e na maioria das vezes, é superior à desfolha causada pela colheita manual.

Figura 8 - Índice MPRI aplicado a área de estudo para o mês de Julho nos anos de 2017 (a) e 2018 (b) respectivamente.

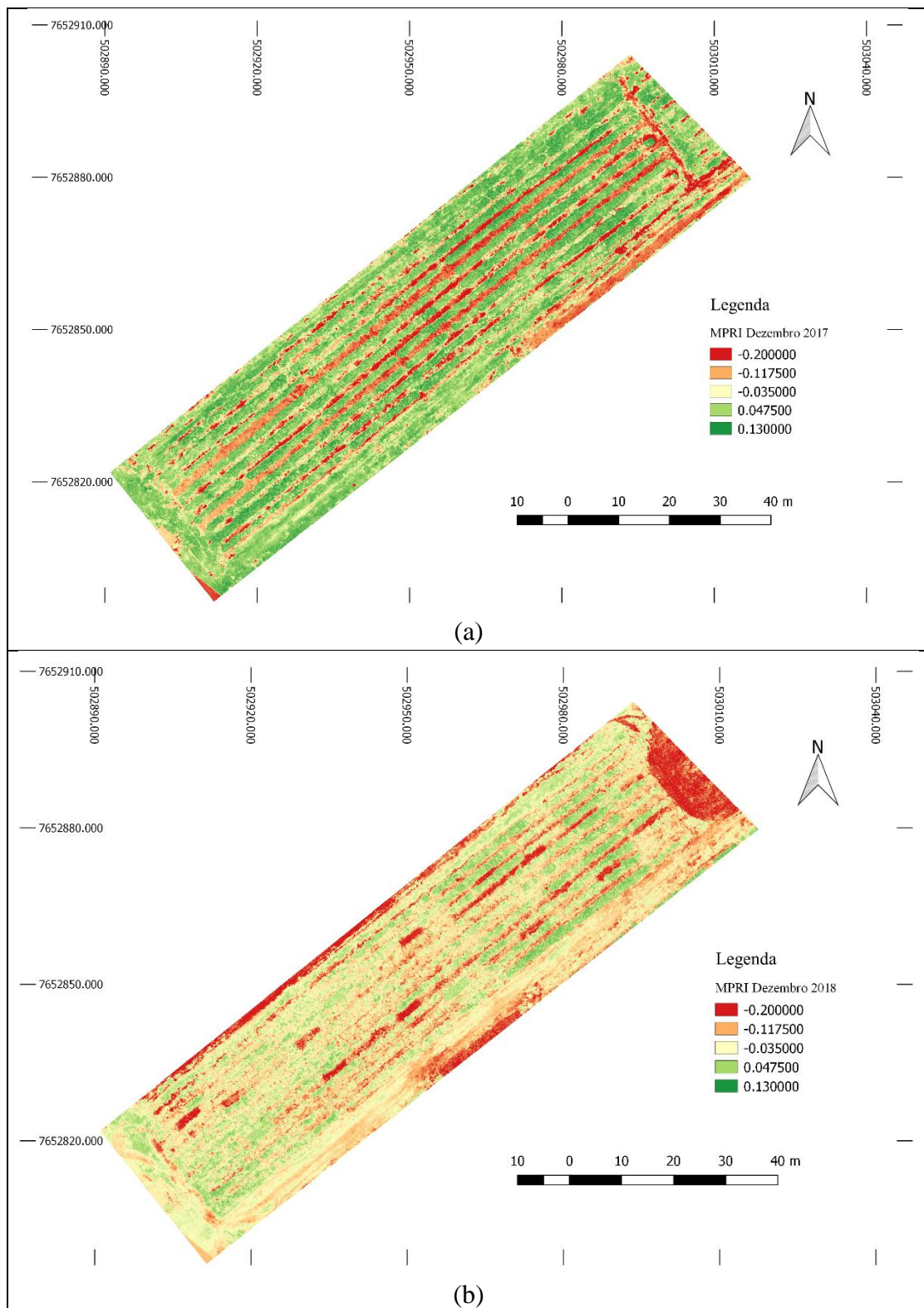


Fonte: Do autor (2019)

Da mesma maneira, na Figura 9 é possível observar a aplicação do índice para o mês de Dezembro nos anos de 2017 (a) e 2018 (b). Observa-se a variação do índice em 2017 e 2018 para o mês de Dezembro. A coloração verde mais intensa é observada em Dezembro de 2017, sendo o mês que apresentou o maior valor do índice em estudo.

Para a análise espacial, também observando a intensidade da coloração verde na vegetação, é possível notar que na região noroeste e sudoeste os índices apresentam maiores valores, tendo no centro da área o menor desenvolvimento do cafeeiro.

Figura 9 - Índice MPRI aplicado a área de estudo para o mês de Dezembro nos anos de 2017 (a) e 2018 (b) respectivamente.



Fonte: Do autor (2019)

Tal comportamento é evidenciado em todos os meses de análise, porém não se pode neste estudo apontar quais são as reais causas deste comportamento. Para isso, recomenda-se análises in loco para explicar este padrão. Tais análises são pontos relevantes para possíveis futuras pesquisas utilizando amostragem de campo e geostatística.

Com objetivo de analisar os dados em um intervalo de Julho 2017 à Julho de 2018 e Dezembro de 2017 à Dezembro de 2018 para observar a variação dos índices, comparou-se as médias, os desvios, os valores máximos e mínimos dos índices para os meses em questão, que estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de média, desvio, mínimo e máximo do índice MPRI

	Média	Desvio	Min	Max
jul/17	0,00522	0,08425	-0,08140	0,10000
dez/17	0,06422	0,09231	-0,07500	0,15315
jul/18	-0,04322	0,06601	-0,18447	0,02128
dez/18	-0,00252	0,06703	-0,10400	0,08745

Fonte: Do autor (2019)

Como apresentado anteriormente o índice de vegetação varia em uma escala de valores de -1 a 1, contudo observou-se nos meses de dezembro de 2017 e julho de 2018 que os valores absolutos do índice de 0,15315 e -0,18447, sendo respectivamente o maior e o menor valor nos meses da análise em questão.

Estes valores se assemelham ao de Gonçalves et al. (2017), que em trabalho desenvolvido no município de Bom Sucesso – MG avaliando a variabilidade espacial e temporal do índice vegetação MPRI aplicado às imagens de grama São Carlos obteve valores de índice que variavam de -0,25 para solos expostos à 0,12 para regiões com predominância do verde e vegetação com maior vigor.

Valores próximos foram encontrados nos estudos de Linhares et al. (2014), no qual valores médios de MPRI para o estágio R2 de desenvolvimento da soja, que corresponde ao estágio reprodutivo da cultura contendo o maior vigor vegetativo, foram de 0,2752 corroborando com os resultados encontrados, onde quanto maior o teor vegetativo maior o valor do índice.

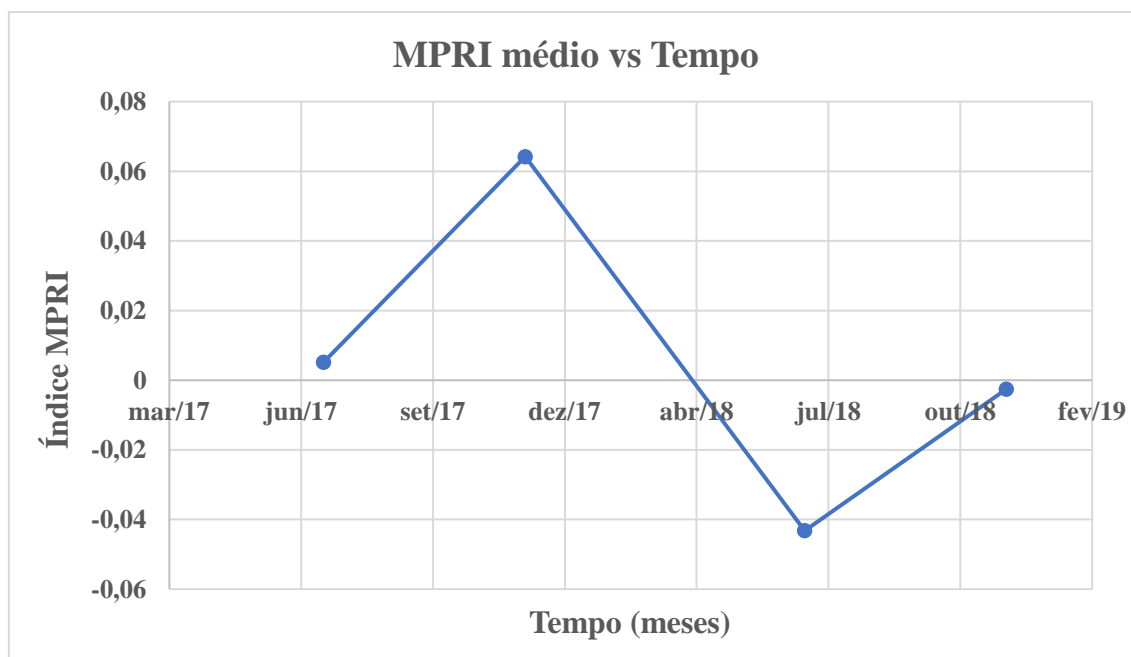
Como pode ser observado nos dados apresentados na Tabela 1, os valores médios do índice para o ano de 2017 são superiores quando comparados aos mesmos meses no ano seguinte. Tal característica pode ser evidenciada pelo fato de a cultura do cafeeiro apresentar

um comportamento bienal, em que em um ano o mesmo apresenta uma alta produção e em contra partida no ano seguinte tem necessidade de aumentar sua cobertura vegetal.

Outro ponto que pode ser observado é que para os meses de Dezembro os valores médios do índice são maiores quando comparados ao mês de Julho do ano correlacionado, o que pode ser explicado pelo fato da distribuição pluviométrica contemplar normalmente os meses de verão e conseqüentemente propiciar o maior desenvolvimento vegetativo dos meses subsequentes.

Após a análise da amplitude da variação do índice, sendo no tempo e no espaço, optou-se por visualizar o comportamento destes valores para o mês em questão realizando a média dos mesmo. No Gráfico 1, é possível observar o comportamento médio do índice MPRI no decorrer dos meses, assim como correlacionar tais comportamentos a atividades que influenciaram no desenvolvimento do cafetal.

Gráfico 1 - Valores médios o índice MPRI para análise dos meses em questão.



Fonte: Do autor (2019)

A referente área recebeu poda do tipo esqueletamento no ano de 2016, o que influenciou no comportamento de crescimento constante dos índices referentes ao crescimento da massa vegetativa do cafeiro no ano 2017, chegando até dezembro do mesmo ano em seu máximo valor. Posteriormente a isso, é possível observar o comportamento característico de bienalidade

do café, em que o índice reduz e posteriormente retorna os valores de MPRI em um comportamento de senoide. Rena e Maestri (1985) explicam que a bienalidade produtiva do café pode ser considerada com sendo o fenômeno da alternância de grandes e pequenas produções ao longo do tempo. Essa alternância bienal de produção é própria da natureza fisiológica do cafeeiro, que necessita vegetar em um ano para produzir bem no ano seguinte. Sendo possível identificar esta resposta fenológica do cafeeiro por meio de IV aplicado em imagens de ARP neste estudo.

5 CONCLUSÃO

O resultado do monitoramento espaço-temporal realizado na área comprova a eficiência das ARP's para o fornecimento de imagens aéreas que poderão servir no acompanhamento do desenvolvimento vegetativo de culturas agrícolas e no monitoramento de forma não destrutiva.

Na aplicação do índice MPRI foi possível analisar a separação da cobertura vegetal e conclui-se que o mesmo distinguiu de forma satisfatória solo de vegetação. Também, a partir da aplicação deste índice, foi possível observar a variação temporal e espacial correlacionando atividades reais desenvolvidas na área com o desenvolvimento vegetativo da cultura do café, assim como observar o comportamento de bienalidade da cultura no período estudado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. A.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. de A. de C. Cafeicultura de precisão. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 189-223.
- BALASTREIRE, L. A. et al. **Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.
- BALLESTEROS, R.; HERNÁNDEZ, D.; ORTEGA, J. F.; MORENO, M. A. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part II: application to maize and onion crops of a semi-arid region in Spain. **Precision Agriculture**, [S.I.] v. 15, n. 6, p. 593-614, 2014b.
- BÁRTHOLO, G.F.; GUIMARÃES, P.T.G. **Cuidados na colheita e preparo do café**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.33-42, 1997.

BATER, C. W.; COOPS, N. C.; WULDER, M. A.; HILKER, T.; NIELSEN, S. E.; MCDERMID, G.; STENHOUSE, G. B. Using digital time-lapse cameras to monitor species-specific understorey and overstorey phenology in support of wildlife habitat assessment. **Environmental monitoring and assessment**, v. 180, n. 1, p. 1-13, 2011.

BORGES, V.P.; OLIVEIRA, A.S.de; SILVA, B.B.da. Mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em área de algodoeiro irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 485-493, mar./abr. 2010.

CANDIAGO, S.; REMONDINO F.; GIGLIO, de M.; DUBBINI, M.; GATTELI, M. **Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images**. Remote Sensing, Basel, v. 7, n. 4, p. 4026-4047, 2015.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênes F4 obtidas por cruzamentos de ‘Icatu’ com ‘Catimor’. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, jan./fev. 2009.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.204-211, 2004.

COLLARES, J.E.R.; LAURIA, C.A.; CARRILHO, M.M. Pesquisa de previsão e acompanhamento de safras baseada em painéis de amostras de áreas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 7., 1993, Curitiba. Anais. Curitiba: INPE, 1993. p.450-453.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira: café/safra 2008, primeira estimativa**. Disponível em: <http://www.cncafe.com.br/galeria/00000403_1%20PREVISAO%20SAFRA%202008%20-%20JANEIRO%202008_0.pdf>, acesso em 07/06/20019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2019**, v. 5– Safra 2019, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-61.

DUARTE, W.O.; BRITO, J.L.N.S. Mapeamento da Cultura do Café no município de Araguari MG utilizando imagens do Sensor CCD do satélite CBERS-2. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p.161-167.

EIPHANIO EIPHANIO, J.C.N.; LUIZ, A.J.B.; FORMAGGIO, A.R. Estimativas de áreas agrícolas municipais, utilizando sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p.187-197, 2002.

GONÇALVES, L. M., BARBOSA, B. D. S., MACIEL, D. T., & SANTOS, H. F. D. Variabilidade espacial e temporal do índice vegetação MPRI aplicado às imagens de grama São Carlos obtidas por aeronave remotamente pilotada/space and temporary variability of the index vegetation applied to images obtained by a remotely piloted aircraft. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 11(4), 340-349.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.46, n.1, p.89-101, 1999.

JORGE, L.A.C.; INAMASU, R.Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOL, L.H.; INAMASU, R.Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 109-134.

LI, S; LI, M. Yield estimation of winter wheat in early growth periods by vehicle-borne ground-based remote sensing system. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v.30, n.3, p.120-127, 2014.

LINHARES, M. M. A.; AMARAL, B. A. S.; COSTA, A. P.; ROCHA, N. C. C.; CÂNDIDO, L. G. Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**, 2014, São Pedro.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006, 908 p.

LIU, W.T.H.; LIU, B.W.Y. Comparação entre três modelos de previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Cultura**, Campinas, v.40, n.8, p.801-807, 1988.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. In: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Agricultura de precisão- Boletim Técnico. Brasília: Mapa/ACS, 2011.

MOREIRA, M.A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.223-231, 2004.

OLIVEIRA, E. et al. Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1826-1830, nov./dez. 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2010, 136 p.

RANGO, A.; LALIBERTE, A.; STEELE, C.; HERRICK, J. E.; BESTELMEYER, B.; SCHMUGGE, T.; JENKINS, V. Using unmanned aerial vehicles for rangelands: current applications and future potentials. **Environmental Practice**, [S.I.], v. 8, n. 03, p. 159-168, 2006.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. **Fisiologia do cafeeiro**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

SANCHES, I.D.; EIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat. **Agricultura**, São Paulo, v.52, n.1, p.83-96, jan./jun. 2005.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VILELA, M. de F. **Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. Separata de: **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar, Brasília, DF**. Embrapa Cerrados, p.58-73, 2014.

SILVA, F. M. da; SOUZA, J. C. S. de; ALVES, M. C. **Influence of manual harvest in the spatial variability of coffee yield and defoliation along two agricultural harvests**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 9., 2008, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: CIGR, 2008. 1 CD-ROM.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; PENÃ, J. M.; CASTRO, A. I. D.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 103, p. 104-113, 2014.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. P. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, jan./fev. 2002.

TUCKER, C. J.; GARRAT, M. W. Leaf optical system modeled as a stochastic process. **Applied Optics**, [S.I.], v.16, n. 3, p. 635-42, 1977.

VOLTERRANI, M. **Effects of nitrogen nutrition bermudagrass spectral reflectance**. International Turfgrass Society, Pisa, v. 10, 2003.

VON BUEREN, S. K.; BURKART, A.; HUENI, A.; RASCHER, A.; TUOHY, M. P.; YULE, I. J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, Göttingen, v. 12, n. 1, p. 163, 2015.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. **Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora – The Future of Land Imaging. Going Operational**, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. Proceedings... Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em: <<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>> . Acesso em: 25 mai. 2019.

ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. 648p.