



OTÁVIO TAVARES PENHA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA COPA DO CAFEIEIRO
A PARTIR DE FOTOGRAMETRIA EMBARCADA EM VANT**

**LAVRAS-MG
2019**

OTÁVIO TAVARES PENHA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA COPA DO CAFEIRO A PARTIR DE
FOTOGRAMETRIA EMBARCADA EM VANT**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do Título de Bacharel.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Coorientador

**LAVRAS-MG
2019**

OTÁVIO TAVARES PENHA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA COPA DO CAFEIRO A PARTIR DE
FOTOGAMETRIA EMBARCADA EM VANT**

**EVALUATION OF COFFEE COPA GROWTH FROM VANT BOARD
PHOTOGRAMMETRY**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do Título de Bacharel.

APROVADA em 20 de novembro de 2019.
Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva – UFLA
Prof. Dr. Fábio Arnaldo Pomar Avalos – UFLA
Profa. Dra. Daniele Vieira Guimarães – UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Coorientador

**LAVRAS–MG
2019**

*A Deus, por me guiar durante os momentos mais difíceis e desafiadores.
À minha família, que garantiu todo o carinho e apoio necessários durante o curso,
Aos meus caros amigos Elidiane Silva e Fabio Arnaldo, cujo conhecimento e inteligência se
fizeram valer de espelho para mim.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar as forças necessárias para vencer os diversos desafios que enfrentei no decorrer da graduação.

Aos meus pais, Beatriz e Humberto, que sempre me incentivaram a ingressar e concluir o curso.

À minha irmã, Helena, por todo o carinho e amizade durante a minha vivência em Lavras.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Solos e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela oportunidade e pela concessão da bolsa de iniciação científica durante parte da graduação;

Aos professores Marx Leandro Naves Silva e Rubens José Guimarães, pela confiança e paciência durante o decorrer desta pesquisa.

A todos os meus colegas de departamento, que me engrandeceram profissionalmente e pessoalmente.

A todos os meus amigos, cujo carinho e companheirismo fizeram a caminhada mais leve e animadora.

À turma 2015/1, por toda ajuda, companheirismo e parceria durante toda a graduação.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O acesso a parâmetros biofísicos de plantas, nos permite adentrar em aproximações relacionadas ao seu desenvolvimento e adaptação, sendo indispensáveis para se avaliar qualquer forma de manejo. Deste modo, o seguinte trabalho avaliou o parâmetro área da copa do cafeeiro a partir de imagens coletadas por um veículo aéreo não tripulado (VANT). O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Lavras na cidade de Lavras-MG, em um campo experimental pertencente ao Departamento de agricultura (DAG) cedido ao setor de cafeicultura. O plantio do café iniciou-se em 21 de janeiro de 2016, utilizando mudas do cultivar “Mundo Novo 379-19”, espaçadas a 3,6 metros nas entrelinhas e 0,75 metros entre plantas. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com fatorial 3x2x5 com 3 repetições, totalizando 30 tratamentos e 90 parcelas. Á nível de parcela está o manejo do mato subdivido em mulching, braquiária e solo exposto. A nível de subparcelas estão dois tipos de fertilizantes convencional e de liberação controlada. Nas mesmas subparcelas foram distribuídos cinco tipos de condicionadores de solo: casca de café, gesso agrícola, polímero hidrorretentor, composto orgânico e testemunha. Para a coleta das imagens foi utilizado um VANT com câmera embarcada. Para o processamento das imagens e estimação da área da copa do cafeeiro foi utilizado os softwares de processamento de imagens. A área da copa do cafeeiro (m²) foi superior para o manejo com braquiária e “mulching” em relação ao solo descoberto. De forma similar, foi observado superioridade do fertilizante de liberação controlada e do composto orgânico em relação aos demais tratamentos dos respectivos fatores. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da utilização da fotogrametria embarcada a VANT para o acesso da área da copa do cafeeiro.

Palavras-chave: Biofísica. VANT. Cafeicultura.

ABSTRACT

Access to plant biophysical parameters allows us to enter into approaches related to their development and adaptation. Being indispensable to evaluate any form of management. Thus, the following work sought the coffee canopy area parameter from images collected by an unmanned aerial vehicle (UAV). The following experiment was conducted at the Federal University of Lavras in the city of Lavras; MG, in an experimental field belonging to the Department of Agriculture (DAG) assigned to the coffee sector. Coffee planting began on January 21, 2016, using seedlings of the cultivar “New World 379-19”, spaced 3.6 meters between rows and 0.75 meters between plants. A randomized complete block design with factorial 3x2x5 with 3 replications with a total of 30 treatments and 90 plots was used. At parcel level is the management of the subdivided bush in mulching, brachiaria and exposed soil. At the subplot level are both conventional and controlled release fertilizer types. In the same subplots were distributed five types of soil conditioners coffee husk, agricultural plaster, water retention polymer, organic compost and control. For the collection of the images a drone with embedded camera was used. For image processing and estimation of the coffee canopy area, image-processing software was used. The coffee canopy area(m²) was higher for brachiaria and mulching management in relation to the uncovered soil. Similarly, it was observed superiority of controlled release fertilizer and organic compost over the other treatments of the respective factors. The results show the technical feasibility of using UAV embedded photogrammetry to access the coffee canopy area.

Keywords: Biophysics. VANT. Coffee farming.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	08
2 REFERENCIAL TEÓRICO	09
2.1 Cafeicultura.....	09
2.2 Morfologia e fisiologia do cafeeiro	10
2.3 Cultivar ‘mundo novo iac 379-19’	11
2.4 Sensoriamento remoto.....	13
2.5 Índice de área foliar.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Instalação e condução do experimento	18
3.2 Manejos do mato.....	20
3.2.1 <i>Mulching</i>	20
3.2.2 Braquiária	21
3.2.3 Convencional.....	21
3.3 Fertilizantes.....	21
3.3.1 Fertilizante convencional	22
3.3.2 Fertilizante de liberação controlada	22
3.4 Condicionadores de solo	23
3.4.1 Composto orgânico	23
3.4.2 Casca de café	23
3.4.3 Polímero hidrorretentor	23
3.4.4 Gesso agrícola	23
3.4.5 Testemunha	24
3.5 Replicação dos tratamentos	24
3.6 Aquisição das imagens	24
3.7 Processamento das imagens.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura gera para o Brasil valores sociais e econômicos tão significativos que a consagram como uma das commodities mais estratégicas para o país. A atividade é ancorada a um elevado nível tecnológico desenvolvido por órgãos federais, tais como universidades, centros de pesquisa, empresas ligadas ao setor privado (MAPA, 2017).

Porém, de maneira geral percebe-se que há uma dificuldade da cafeicultura sul mineira quanto a inovação, o que fica evidente quando se realiza a comparação com produtores de cereais (SCOLARI; 2006). No sul de minas, esta diferença se justifica através do perfil característico da atividade que é predominantemente composto por agricultura familiar.

A inovação é deixada de lado ao concorrer com o tradicionalismo, além disso, por ser mão de obra familiar, todo o gerenciamento das atividades é feito pela família justificando a dificuldade de se ausentar para treinamentos. (SILVA et al., 2018). Em contrapartida, ocorrem incrementos na produção de países como Vietnã, Colômbia entre outros, que tornam a atividade cada vez mais competitiva e desafiadora (OIC, 2018). Deste modo a inovação/sensoriamento remoto se torna uma alternativa valiosa à correta alocação de recursos, aproximando o produtor de um mercado consumidor cada vez mais exigente em produção sustentável.

Portanto, faz-se necessário que toda a cadeia produtiva venha a compreender o impacto da inovação na competitividade, visto que ela amplifica os ganhos produtivos, sociais e ambientais. Neste sentido, decifrar e conhecer a utilização do sensoriamento remoto aliado à fotogrametria e utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) podem ser uma realidade nesta cultura, tendo em vista o custo inicial da técnica e os ganhos que ela representa. Sendo assim, o seguinte estudo objetivou a avaliação da área da copa do cafeeiro, sob diversos sistemas de manejo visando o suprimento de água, utilizando de imagens adquiridas a partir de sensores embarcados em um veículo aéreo não tripulado (VANT) e softwares específicos para tratamento das imagens e geração de índices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

O café (*Coffea* sp) é uma planta da família rubiaceae nativa da África que quando introduzido em 1727 por Francisco de Mello Palheta ganhou apreço dos brasileiros se tornando

em pouco tempo uma das mais importantes commodities da nação (BISPO, 2013; MELLO, 2001). Na década de 50 o café representou 70% das receitas brasileiras via exportação sendo fundamental no processo de industrialização. (ZAFALON,1998)

A nível mundial, o Brasil ocupa o lugar de destaque no setor cafeeiro pois é o maior produtor e exportador do fruto, também sendo o segundo maior consumidor da bebida. Além disso, o café é fundamental para a economia por ser o 5º produto dentre os responsáveis pelas receitas advindas da exportação, movimentando US\$ 5,2 bilhões (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2017). Segundo a ABIC (2011), “o café era em 2011 o alimento mais consumido diariamente por 78% da população brasileira com idade superior a 10 anos, totalizando 255 ml/dia ou 93 litros/habitante/ano”.

A maior parte da produção se concentra no Estado de Minas Gerais, seguido pelos estados de São Paulo, Espírito Santo e Bahia. Sendo estes 4 correspondentes à 85% da produção nacional (CONAB, 2016). Se tratando de Minas Gerais, as primeiras lavouras foram plantadas em fins do sec. XVIII (ROMERO; ROMERO,1997). A partir do sec. XIX a cafeicultura se expandiu pelo sul do estado, instituindo um complexo agroindustrial em meados de 1970 (FILETTO; ALENCAR, 2001).

No sul de Minas a cafeicultura encontrou situações ideais para o seu desenvolvimento como clima, infraestrutura, solos, instituições de pesquisa e cooperativas que foram fundamentais para o sucesso da cultura (PÁDUA, 1998; SILVA, 1998). Minas Gerais concentra a maior área de café arábica, 1,21 milhões de hectares, correspondendo a 69,6% da área ocupada pela espécie em âmbito nacional. A produção mineira para o ano de 2018 foi de 32.970,1 mil sacas, sendo a região sul e centro oeste correspondente a 17.896,1 mil sacas do total do estado; evidenciando a importância econômica e social da *commodity* para a região (CONAB, 2018).

As duas principais espécies de café amplamente difundidas no território nacional são: *Coffea arabica*, que é cultivado em regiões com altitude acima de 800 m, e *Coffea canephora*, popularmente conhecido como Conillon ou Robusta cujo cultivo se dá em regiões mais quentes e de menor altitude (ALZUGARAY; ALZUGARAY, 1984). Sendo ainda que cada uma das espécies possui uma grande diversidade variedades e linhagens disponíveis ao melhoramento. (PEREIRA, 2012, p.22).

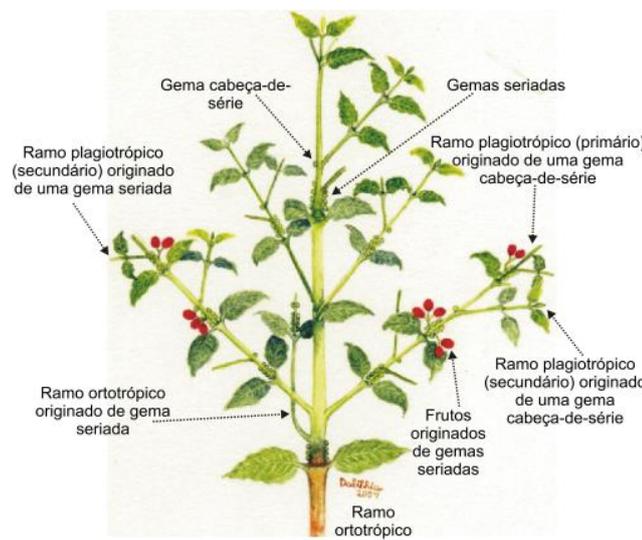
Por sua vez, há diferenças morfológicas entre as espécies. *Coffea arabica* apresenta-se como uma planta unicaule com folhas verde escuro menores e lisas cujas flores são autógamas com 7 a 15% de cruzamento, enquanto que a espécie *C. canephora* apresenta-se como uma planta multicaule com folhas verde claro maiores e mais acasteladas, cuja flor é alogama apresentando 100% de cruzamento (CARVALHO et al., 2007).

2.2 Morfologia e fisiologia do cafeeiro

O cafeeiro possui um caule retilíneo cuja casca é cinza e rugosa. As sementes são comercialmente valoradas e depois de processadas podem ser consumidas na forma de infusão ou na composição de diversos outros alimentos. Dotada de aroma e sabor característicos, a bebida é nutritiva e estimulante (FAHL, 1995). Em resumo, pode-se dizer que o cafeeiro apresenta as seguintes características morfológicas:

A planta é um arbusto perene, cuja altura varia entre dois a seis metros e, no estado selvagem, sem nenhum tipo de condução, pode chegar a 10 metros. Sua copa tem um formato cilíndrico com apenas um ramo vertical de onde saem, regularmente, ramificações laterais horizontais. As folhas, quando adultas, são de coloração verde-escura e brilhantes, formato elíptico, bordas onduladas, nervuras secundárias de pequena profundidade e domácias glabras e parcialmente desenvolvidas. As inflorescências que se desenvolvem na axila foliar dão origem a até quatro flores, em uma estrutura denominada de glomérulo. Os frutos são de formato oblongo, de coloração amarela ou vermelha, encerrando duas sementes envolvidas por uma membrana resistente comumente chamada de pergaminho. (ALVES et.al, 2007, p.31).

Figura 1 – Representação esquemática da parte aérea do cafeeiro (*C.arabica*) mostrando as gemas e os ramos, as folhas e os frutos que delas se originam



Fonte: (ALVES, 2007).

A espécie arábica completa um ciclo fenológico a cada dois anos, sendo o primeiro ano nomeado vegetativo e o segundo o reprodutivo. A esta característica intrínseca do cafeeiro resulta a bienalidade da cultura, que corresponde a um ano de baixa produção intercalado a um ano de alta (CARMARGO, 2003). Em um ano os frutos absorvem a maior parte dos

fotoassimilados produzidos pela planta. Deste modo o dreno fruto é maior, ocasionando menor crescimento vegetativo. Porém, no ano seguinte as partes novas dos ramos estão aptas a produzir novos frutos, sendo o crescimento deste ramo inter-relacionado à produção dos ramos do ano anterior (CAMARGO, 2003).

As cultivares mais plantadas da espécie arábica no Brasil são a Catuai e a Mundo Novo cujas várias linhagens foram fundamentais para o crescimento da cafeicultura brasileira entre os anos de 1960 e fim da década de 1970, demonstrando a profunda aceitação por parte dos produtores que se mostraram aptos a renovar as lavouras com estas cultivares (CARVALHO et al., 2007).

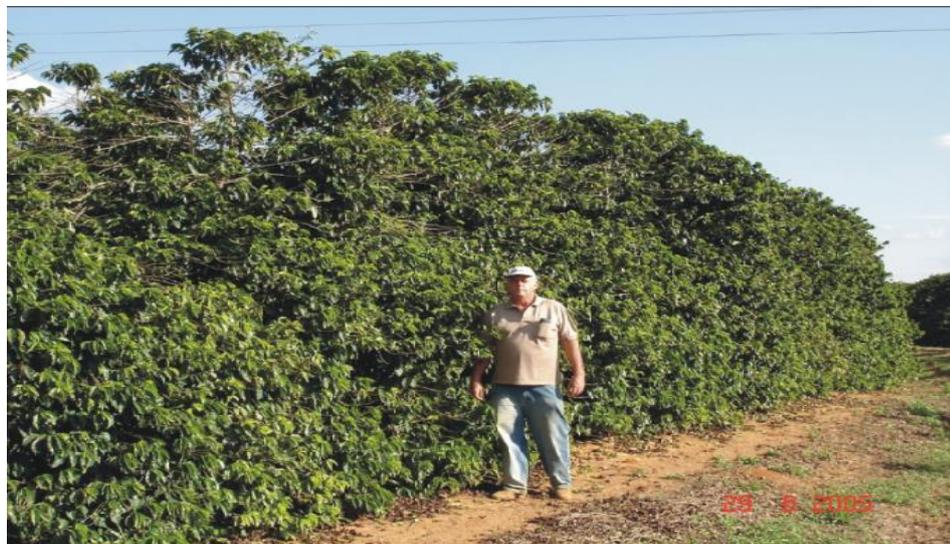
2.3. Cultivar ‘mundo novo iac 379-19’

Essa cultivar corresponde a uma hibridação natural entre as cultivares *Bourbom* Vermelho e Sumatra. Encontrada em Mineiros do Tietê (SP), onde foram coletadas as sementes da cultivares plantadas no município de Mundo Novo, atual Urupês (SP), originando os primeiros materiais do cultivar Mundo Novo (FAZUOLI et al., 2008).

As linhagens oriundas desse acasalamento ao acaso possuem sensibilidade a ferrugem, porém apresentam altos vigor e produtividade. São plantas de porte alto e copa cilíndrica com diâmetro médio de 2,30 m. Uma característica marcante do cultivar é a cor das folhas novas que pode ser tanto verde-clara ou bronze. Os ambientes ideais para o desenvolvimento desse cultivar são locais de altitude de média a alta, com solos férteis e profundos. É importante ressaltar que, devido ao vigor e susceptibilidade à ferrugem, não se deve plantar este cultivar em espaçamentos curtos, visando a garantia de desenvolvimento e produção (BATISTA, 2010).

Em 1999, segundo Fazuoli et al (2008), as linhagens do cultivar Mundo Novo foram incluídas no Registro Nacional de Cultivares (RNC), sendo elas a ‘Mundo Novo IAC 374-19’ e a ‘Mundo Novo IAC 376-4’. As cultivares do grupo Mundo Novo atualmente registradas no RNC e indicadas para plantio são designadas pelos sufixos: IAC 376-4, IAC 379-19, IAC 382-14, IAC 388-17, IAC 388-17-1, IAC 388-6, IAC 464-12, IAC 515-5, IAC 515-20, IAC 501-5, IAC 502-1, IAC 467-11e IAC 480-6. Destas, a cultivar IAC 379-19 se destaca pela sua adaptação a sistemas de colheita mecanizado por se desenvolver melhor em espaçamentos mais largos. Deste modo, este cultivar permite o mapeamento da produtividade e se torna um excelente material para se estudar o sensoriamento remoto na cultura do cafeeiro.

Figura 2 – Lavoura do cultivar Mundo Novo IAC 379-19, com 13 anos de idade, na Cidade de Varginha/MG



Fonte: Livro Cultivares de Café

2.4 Sensoriamento remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) se trata de conjunto de técnicas que permitem a aquisição de informações dos objetos dispostos na superfície terrestre sem necessariamente estar em contato com os mesmos (NOVO; PONZINI, 2008). É amplamente utilizado na agricultura de precisão como ferramenta de produção de dados localizados para sustentar a tomada de decisões no manejo das culturas, objetivando melhor rendimento e qualidade LEONARD (WRIGLEY et al., 2017, p.704).

Técnicas baseadas no SR permitem analisar sistematicamente as variações temporais e espaciais dos fatores de produção, permitindo diagnósticos rápidos e precisos, assegurando dinamismo e inovação no manejo como na produtividade da lavoura (SARAIVA ET.AL,1998). Distinto ao que ocorre na cadeia de produção de cereais, na cafeicultura, pouco se fala destas técnicas e de suas aplicações justificando a necessidade de estudá-las para a difusão e implementação com eficiência e regularidade.

Entre os exemplos mais recentes da aplicação e do potencial do SR na cafeicultura está o experimento de Nogueira et al. (2018), que demonstrou uma alta correlação entre os valores obtidos pelos índices de vegetação *normalized difference vegetation index* (NDVI), *soil*

adjusted vegetation index (SAVI) e *normalized difference water index* (NDWI) em diferentes fazes fenológicas da planta e em ano de alta e baixa produção.

Outro fator diretamente relacionado a produtividade é a mortalidade de plantas, esta pode ser obtida através do SR assim como demonstrado por Khokthong (2019), que utilizou um drone e fotogrametria para a avaliação da cobertura vegetal e a mortalidade de plantas.

O mapeamento da produtividade é fundamental para a avaliação da variabilidade espacial da lavoura (MOLIN et al., 2000; OLIVEIRA, 2007). Para Queiroz et al (2000) este é o ponto de partida para avaliar as fontes de variação da produtividade, bem como analisar as respostas econômicas e ambientais que o manejo localizado pode vir a trazer.

Atualmente a cafeicultura tem como um dos fatores mais limitantes da produtividade às doenças fúngicas, neste sentido Alves et al. (2009) descreveu a variabilidade da ferrugem e da cercosporiose na cultura do cafeeiro. Verificou-se que ambas as doenças se dispersavam a partir de focos na lavoura, indicando que não havia a necessidade de se controlar a doença em área total, mas sim um controle direcionado as manchas.

Tendo como base a doença como resposta ao desequilíbrio nutricional pode se citar um estudo de CHEMURA (2018), que a partir de imagens obtidas pelo sistema Sentinel-2 MSI estimou o conteúdo de N foliar nas plantas de café. Além de identificar as variações quanto a susceptibilidade à doença, este estudo fornece uma avaliação complementar à análise de folha possibilitando um ajuste mais preciso da adubação nitrogenada.

Esta variável pode ser obtida com base em dados obtidos por um VANT e técnicas de SR, como foi demonstrado por Caturegli (2016), quem estimou o conteúdo de N foliar nas gramíneas *Cynodon dactylon* x *transvaalensis*, *Zoysia matrella* e *Paspalum vaginatum* através do NDVI.

Além do conteúdo de N pode se quantificar as manchas foliares provocadas pelas doenças. Tetila et al. (2017) quantificaram algumas doenças foliares na cultura da soja utilizando um VANT *DJI Phantom 3 Professional* equipado a uma câmera *Sony EXMOR* com resolução de 12,3 megapixel e mecanismos de aprendizagem de máquinas. Neste trabalho foram obtidos resultados próximos a 98% de acurácia na identificação das doenças conhecidas como mancha alvo e míldio nas alturas de 1 e 2m de voo.

Autonomia e redução dos custos de produção refletem uma forma de equilíbrio que os produtores buscam em épocas de crise do setor, deste modo Chemura (2018), nos demonstra como o sensoriamento remoto pode se destacar como uma alternativa à redução de custos. Em sua pesquisa ele testou a capacidade das bandas do visível e do infravermelho próximo para se estimar o conteúdo de água no café, utilizando o algoritmo “*random forest*” para realizar as

predições. Além de permitir ajustes na lâmina de irrigação visando a diminuição dos gastos fica exposto que a utilização de sensores manuais está se tornando obsoleta por apresentar uma metodologia laboriosa e de baixo rendimento operacional.

Diante do exposto, verifica-se que o sensoriamento remoto da cafeicultura é uma alternativa viável à adequação dos produtores ao mercado consumidor cada vez mais exigente em produtividade aliada a menor utilização de agroquímicos. Além de permitir uma redução nos custos de produção, propiciando maior autonomia ao produtor.

Portanto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta dentro da agricultura de precisão que vem se mostrando valiosa como alternativa de baixo custo a avaliações manuais de baixo rendimento operacional. É um campo em aberto na pesquisa brasileira que tem de ser explorado para a exposição de novos meios de decifrar a assinatura espectral do cafeeiro juntamente com os melhores índices de vegetação que nos permitam realizar alterações incisivas implicações ao manejo.

2.5 Índice de área foliar

Por definição tem-se que: “O índice de área foliar (IAF) é a área de uma das faces da folha por unidade de solo” (MONTEITH;1973, p.111). Este índice é utilizado amplamente na área das ciências agrárias visando-se estimar indiretamente parâmetros fisiológicos e bioquímicos das plantas que posteriormente podem vir a ser utilizados para estimar a produtividade vegetal. Para a agricultura de precisão o IAF é sem dúvida uma das melhores maneiras de se atingir a relação planta-ambiente pois está relacionada ao comportamento da luz dentro do dossel.

Atualmente, segundo Silva (2011), os métodos mais utilizados para se estimar o IAF na cafeicultura são o método do Integrador de Área foliare o método de Dimensões foliares. O primeiro mede a área foliar através de grades de área conhecida, porém é um método caro e destrutivo (LICOR, 1996, p.34). O segundo é estima a área foliar através de um retângulo cuja a área é conhecida.

Índices de área foliar podem ser obtidos tanto ao nível do solo quanto por VANT's através do sensoriamento remoto, o produto obtido é uma informação multitemporal, continua no espaço, porém a grande vantagem do VANT's é a possibilidade de se cobrir áreas extensas com facilidade e acurácia sem destruição de material (KE,2016). O processamento de imagens é um método indireto e não destrutivo que pode inferir sobre diversas informações de interesse, como por exemplo os índices de vegetação ou o de área foliar.

Existem diversas metodologias para se chegar a valores de IAF, divididas em destrutivas, no qual é retirada a folha da planta, e não destrutivas, onde não é retirada. Métodos diretos são aqueles cujas medidas são realizadas diretamente nas folhas, enquanto os indiretos são obtidos através da correlação de uma variável morfológica mensurável e a área foliar (FLUMIGNAN, 2008, p.1-6). No campo da fotogrametria são utilizados dados hiperspectrais para se chegar ao IAF, que podem ser divididos em três metodologias; modelos baseados na aproximação estatística, modelos baseados na física e modelos híbridos (KE, 2016).

Um dos pioneiros no estudo de IAF para cultura do cafeeiro foi Valência (1973), que já alertava para o fato de que se a produtividade de uma planta é resultado da transformação de energia luminosa em energia química, através da superfície foliar. A estimacão da área foliar possui a capacidade para ser uma das melhores medidas para se estimar o potencial produtivo da mesma. O autor citado destaca a importância da folha como base do rendimento biológico e econômico de qualquer cultivo, sendo fundamental a estimativa da área foliar considerando o suprimento da demanda fotossintética de todas as partes da planta, resultando na racionalização da adubação, podas e densidade entre outros manejos.

Em busca da otimização do rendimento do cafeeiro com base em um valor de IAF ótimo e comparando diferentes densidades de plantio para a cultura do café, VALÊNCIA (1973) concluiu que o rendimento máximo da cultura foi obtido quando o IAF foi equivalente a oito, valor que pode ocorrer aos três anos para população de 10.000 plantas ha⁻¹, e, depois do 4º ano após o plantio, para a população 5.000 plantas ha⁻¹. Este estudo demonstra o dinamismo do comportamento vegetativo do cafeeiro em relação ao estande de plantas e idade da lavoura.

Um dos principais danos que se pode causar a planta de café é a desfolha, seja ela oriunda do sistema de colheita, de algum patógeno, escassez de nutrientes entre outros, o que pode reduzir a longevidade e produtividade da lavoura (BÁRTHOLO; GUIMARÃES, 1997; p.33-42). Visto que o cafeeiro possui a natureza de vegetar para depois frutificar, quando ocorre a desfolha em determinado período do ano, a planta mobiliza boa parte de seus metabólitos para a recomposição de galhos e folhas em detrimento de flores e frutos (RENA, 1996, p.73-85).

Em um estudo desenvolvido por (ALVES, 2008, p.1-4) buscou-se a correlação entre a produtividade e a desfolha. Através de uma regressão, ele evidenciou que a possibilidade de se estimar a produtividade por meio da desfolha com acurácia ($R^2 = 0,75$ e $0,83$). Ainda, o autor concluiu que o resultado apresentava dependência espacial que poderia ser representada através de um sistema de informação geográfica (SIG).

O mapeamento do IAF pode ser uma boa alternativa para se chegar a um projeto mais preciso de irrigação, visto que o estômato presente na folha é responsável por 90% da água

transpirada pelo cafeeiro (ALVES, 2007, p.35.). Deste modo o manejo racional da irrigação pelo cafeeiro deve levar em conta as variações espaciais e temporais do solo e da planta (SANTINATO, 1997, p.146). Portanto, aliar dados de IAF com o manejo da irrigação representa uma alternativa econômica e sustentável de manejo.

Já existem estudos como o de Roth (2018, p.161-175) que demonstram a possibilidade de acessar o IAF a partir de um VANT. Para isto ele utilizou de um modelo que visava extrair informação geométrica ancorado em um modelo de simulação 3D, o método criado inclui algoritmos capazes de extrair informações individuais de imagens oblíquas utilizando de projeção de imagem e segmentação aliada a aprendizagem ativa. No mesmo sentido Roosjen (2018, p.14-26) e colaboradores, demonstraram que é possível calcular o índice de área foliar e o conteúdo de clorofila na cultura da batata através de imagens obtidas por VANT.

Objetivou-se com esta pesquisa o aferimento da área da copa do cafeeiro através da fotogrametria embarcada a VANT, vislumbrando uma metodologia inovadora para se atingir parâmetros biofísicos do cafeeiro

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras/MG, em um campo experimental pertencente Departamento de agricultura (DAG) cedido ao setor de cafeicultura. O experimento foi iniciado por Castanheira (2018) em janeiro de 2016, está localizado nas coordenadas 21°13'36,47" S e 44°57'40,35 W e altitude média de 975 m. O clima da região é mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno classificado como Cwa segundo Koppen (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

O solo da área de estudo foi mapeado como uma área de transição entre Argissolo vermelho amarelo (PVA) e Latossolo amarelo (LA) (CURI et al., 2017).

Tabela 1 – Análise química e a granulometria do solo da área experimental, antes da instalação do experimento. Lavras - MG, 2015.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Ca	Mg	Al ³⁺	(H+Al)				(t)	(T)
							(cmolc dm ⁻³)					
0-20	5.0	4.5	104	1.5	0.5	0.2	3.5	2.3	2.5	5.7		
20-40	4.6	1.4	48	0.5	0.2	0.5	4.4	0.8	1.3	5.1		
	V	M	M.O	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
	%		(Dag Kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)			(mg dm ⁻³)					
0-20	39.6	8.1	2.1	27.1	2.9	102.7	22.9	4.1	0.3	35.9		
20-40	15.9	37.8	1.3	16.5	0.7	93.5	10.6	3.2	0.5	60.7		
Classificação do solo	Argila			Silte			Areia					
				(Dag Kg ⁻¹)								
Textura argilosa	44			9			47					

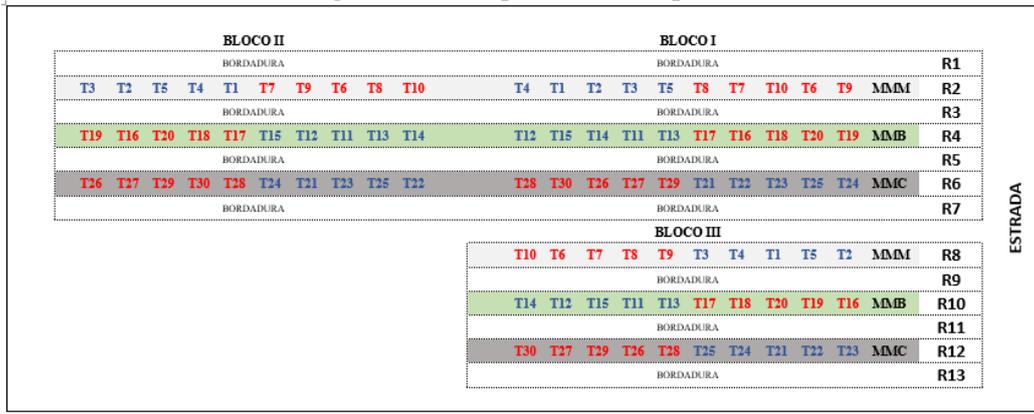
Fonte: Castanheira (2018)

3.1 Instalação e condução do experimento

O plantio do café iniciou-se em 21 de janeiro de 2016, utilizando mudas do cultivar “Mundo Novo 379-19”, espaçadas a 3,6 m nas entrelinhas e 0,75 m entre plantas. Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com fatorial 3x2x5 e 3 repetições, com um total de 30 tratamentos e 90 parcelas. A nível de parcela está o manejo do mato subdivido em “*mulching*”, braquiária e solo exposto. A nível de subparcelas estão os dois tipos de fertilizantes convencional e de liberação controlada. Nas mesmas subparcelas foram distribuídos cinco tipos de condicionadores de solo casca de café, gesso agrícola, polímero hidrorretentor, composto orgânico e testemunha.

Figura 3 – Croqui da área experimental



Manejo do Mato	MMM	Manejo Mato Com Mulching
	MMB	Manejo Mato Com Braquiária
	MMC	Manejo Mato Convencional
Fertilizantes	FC	Fertilizante Convencional
	FLC	Fertilizante Liberação Controlada
Condicionadores de Solo	T1 T6 T11 T16 T21 T26	Casca de Café
	T2 T7 T12 T17 T22 T27	Gesso Agrícola
	T3 T8 T13 T18 T23 T28	Polímero Hidrorretentor
	T4 T9 T14 T19 T24 T29	Composto orgânico
	T5 T10 T15 T20 T25 T30	Testemunha

Observações:
 Espaçamento: 3,6x0,75
 Número de Plantas: 1200
 Plantas/Parcela: 6 (sendo as 4 centrais úteis)
 Número de Ruas: 13 (sendo 6 úteis)
 Número de Parcelas: 90

Fonte: Castanheira (2018)

Figura 4 – Parcelas e subparcelas identificadas no ortomosaico.



Fonte: Do autor (2019)

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos experimentais, em Lavras/MG

Tratamentos	Descrição dos Tratamentos		
	Manejo do Mato	Fertilizantes	Condicionadores de Solo
T1	Manejo do Mato com Mulching	Fertilizante Convencional	Casca de Café
T2			Gesso Agrícola
T3			Polímero Hidrorrentor
T4			Composto Orgânico
T5			Testemunha
T6		Fertilizante Liberação Controlada	Casca de Café
T7			Gesso Agrícola
T8			Polímero Hidrorrentor
T9			Composto Orgânico
T10			Testemunha
T11	Manejo do Mato com Braquiária	Fertilizante Convencional	Casca de Café
T12			Gesso Agrícola
T13			Polímero Hidrorrentor
T14			Composto Orgânico
T15			Testemunha
T16		Fertilizante Liberação Controlada	Casca de Café
T17			Gesso Agrícola
T18			Polímero Hidrorrentor
T19			Composto Orgânico
T20			Testemunha
T21	Manejo do Mato Convencional	Fertilizante Convencional	Casca de Café
T22			Gesso Agrícola
T23			Polímero Hidrorrentor
T24			Composto Orgânico
T25			Testemunha
T26		Fertilizante Liberação Controlada	Casca de Café
T27			Gesso Agrícola
T28			Polímero Hidrorrentor
T29			Composto Orgânico
T30			Testemunha

Fonte: Castanheira (2018)

3.2 Manejos do Mato

3.2.1 *Mulching*

O manejo do solo utilizando o *mulching*, consiste na utilização de plástico a base de polietileno com 1,60m de dupla face preta e branca. O filme plástico foi fixado ao solo por meio da amontoa de terra, a face branca foi colocada para cima e a face preta para baixo. Este arranjo

teve como intuito diminuir a elevação indesejada da temperatura do solo ao redor do colo da planta e impedir a germinação das plantas daninhas por bloquear o contato direto com a luz. Para que os diferentes tipos de fertilizantes e condicionadores de solo fossem aplicados, foram levantados os laterais do filme plásticos que posteriormente foram fixadas novamente.

3.2.2 Braquiária

A braquiária utilizada no consórcio foi a espécie *Urochloa decumbens*, a linha de plantio sempre foi mantida coberta através da palhada gerada pela ceifa da braquiária. A gramínea foi semeada utilizando 10 kg ha⁻¹ de sementes logo após a demarcação dos sulcos de plantio (dezembro de 2015) a lanço na entrelinha do cafeeiro resguardando uma distância mínima de no mínimo 1m da linha de plantio. A ceifa foi conduzida sempre antes do florescimento, visando impedir a competição entre a planta de cobertura e a cultura principal. Ao final da ceifa, os restos culturais foram arrastados para a linha de plantio com o auxílio de um rastelo.

3.2.3 Convencional

O tratamento com solo exposto foi conduzido por meio de capinas químicas e mecânicas. Visando a manutenção da linha de plantio sem qualquer tipo de planta daninha em uma distância mínima 1m de cada lado. Na entrelinha foi utilizada a roçadora mecânica para o controle das plantas daninhas.

3.3 Fertilizantes

Para a interpretação e recomendação dos corretivos e fertilizantes foram retiradas 20 amostras aleatórias nas camadas de 0-20 e 20-40cm com auxílio de um trado holandês em zig-zag por toda a área da gleba. Posteriormente as análises simples coletadas foram depositadas em um balde para a composição da amostra composta, esta foi encaminhada para análise no laboratório de análises de solo da Universidade Federal de Lavras para que os atributos físico-químicos fossem evidenciados.

Após a análise e interpretação, foi calculada a necessidade de calcário para a correção do solo. Foram utilizados 1,9 ton ha⁻¹ de calcário cuja dose foi aplicada em área total, visando a

saturação por bases de 70%, o calcário escolhido apresentou em sua composição 35% de CaO e 14% de MgO, com PRNT de 90%.

A calagem complementar foi realizada no sulco com o emprego de 150g m^{-1} . Foi feito posteriormente a fosfatagem cuja dose foi de 350 g de superfosfato simples por metro linear. Tanto a correção do solo quanto a adubação necessária foram calculadas seguindo as recomendações da 5a Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999). Os micronutrientes foram aplicados via folha conforme recomendações de Guimarães et al (1999). No primeiro ano pós-plantio, aplicaram-se 30 g de N e 10 g K_2O por planta. Cada tratamento recebeu a mesma dose calculada, porém o modo de aplicação diferiu segundo os diferentes tipos de fertilizantes.

3.3.1 Fertilizante convencional

O fertilizante convencional utilizado foi o 20-00-20, esporadicamente foi utilizada a ureia (45%N) quando necessário. Em pós-plantio foram utilizados 10 g de N e 10 g de K_2O por planta. A dose do fertilizante convencional foi parcelada e aplicada aos 30 e 60 dias após o plantio, nos meses de fevereiro e março de 2016. Para a adubação de primeiro ano a dose foi parcelada em 3 vezes em intervalos de 45 dias sendo a primeira aplicação realizada em novembro de 2016.

3.3.2 Fertilizante de liberação controlada

O tratamento com fertilizante de liberação lenta consiste no produto comercial Producote Longer® - N (37%N), que é a base de ureia e cujos grânulos são revestidos com um filme de enxofre elementar e de polímeros orgânicos; e outro a base de cloreto de potássio Producote Longer® - K (52% K_2O) que também é revestido com as mesmas camadas. Este fertilizante foi aplicado uma única vez em covetas de 5cm de profundidade, tanto na adubação de plantio quanto na de primeiro ano que foi realizada em novembro de 2016.

3.4 Condicionadores de solo

3.4.1 Composto orgânico

A aplicação do composto orgânico foi realizada na projeção da copa do cafeeiro segundo as doses recomendadas na 5ª aproximação que neste caso correspondeu a 10L/planta. O produto comercial de nome “Garantia”, foi obtido na empresa Terra de cultivo, a sua composição é oriunda predominantemente da indústria alimentícia e dos produtos residuais de fazendas.

3.4.2 Casca de café

A casca de café foi aplicada seguindo a dose de 10L/cova logo após o plantio na projeção da copa do cafeeiro. Este resíduo é oriundo do beneficiamento do café em coco.

3.4.3 Polímero hidrorretentor

O produto comercial utilizado foi Hydroplan-EB® sua aplicação foi realizada junto ao plantio do café localizada nas covas de plantio. Para que o polímero pudesse ser utilizado foi necessário realizar uma diluição de 1,5 kg do produto em 400 L de água, onde foi mantido por um período de 30 minutos para a completa hidratação, seguindo recomendações do fabricante. A dose utilizada foi de 1,5L/cova que foi incorporada ao solo retirado da cova para o posterior plantio da muda segundo recomendações de Pieve (2013).

3.4.4 Gesso agrícola

A dose calculada teve como base a camada de 20-40cm e considerou a metodologia proposta por GUIMARÃES ET AL. (1999) que leva em conta a textura do solo. Foi aplicada uma dose de 300 g/m², sendo utilizados 150g de cada lado da linha de plantio. O produto utilizado possuía 18% de Ca e 15% de S.3.4.5 Testemunha

O tratamento testemunha não recebeu o fator condicionador de solo, estando susceptível as variações provocadas pelos diferentes tipos de fertilizantes e pelos diferentes tipos de cobertura.

3.5 Reaplicação dos tratamentos

Os condicionadores de solos são reaplicados anualmente em outubro seguindo as mesmas doses da instalação do experimento. É importante salientar que a dose do polímero hidrorretentor (1,5L/planta) é aplicado por meio de covetas laterais à planta.

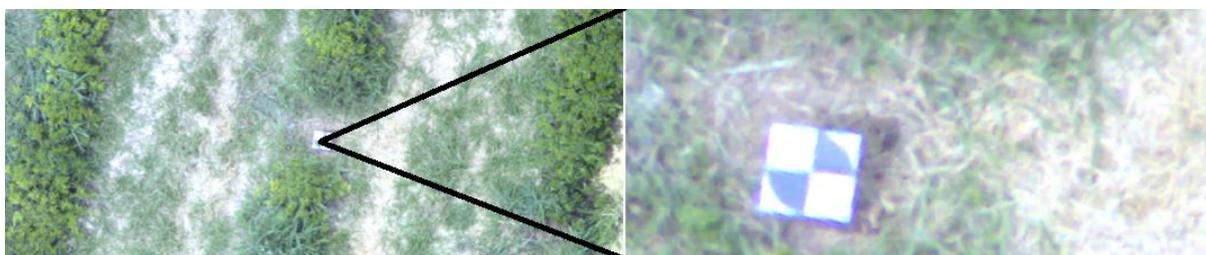
Em relação aos fertilizantes, são coletadas amostras de solo para análise de fertilidade anualmente que são utilizadas para o ajuste das doses a serem aplicadas.

3.6 Aquisição das imagens

A aquisição das imagens se deu através de um veículo aéreo não tripulado (VANT), modelo é *DJI Phantom 3 professional* com gimbal-estabilizado FC300X e uma câmera Sony EXMOR 1/2.3, a velocidade média de operação foi de 15m/s. os parâmetros fotográficos utilizados para este estudo foram; abertura = $f/2,8$, velocidade do obturador = $1/290$ s, ISO = 100, balanço de branco de 4500K e distância focal de 3,6mm. Foram realizados cinco voos entre os meses de dezembro a maio de 2017/2018 nos dias 15/12/2017, 08/02/2018, 21/03/2018, 13/04/2018 e 28/05/2018.

Foram obtidas de 35 a 60 imagens por voo na altura de 30m com uma sobreposição lateral e frontal de 80%. Para o registro das imagens foram utilizados 12 pontos de controle pré-fixados na área. Para o processamento das imagens e confecção dos ortomosaicos foi utilizado o software Agisoft Photoscan Professional® v1.4.

Figura 5 – Ponto de controle utilizado para coregistro de imagens



Fonte: Do autor (2019)

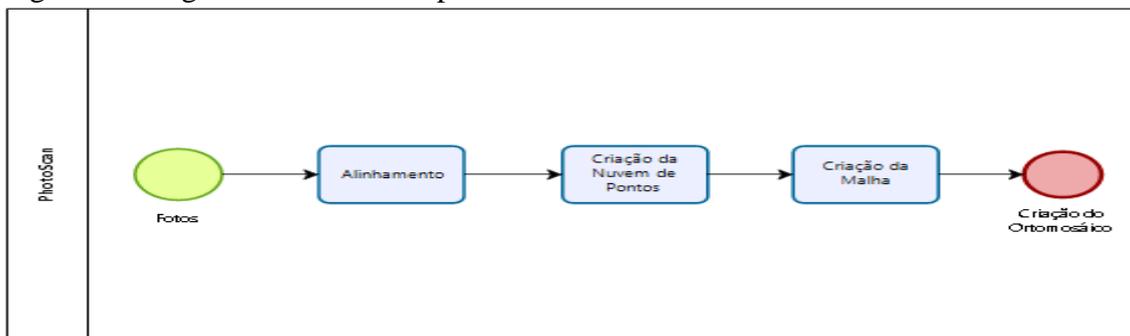
3.7 Procesamento das imagens

A primeira etapa para a obtenção do ortomosaico consiste no alinhamento das fotos. Para isto, utilizou-se o software *PhotoScan* que reconhece e une a localização dos pontos homólogos 2D nas imagens, ordenando-as. Esta operação utiliza algoritmos similares aos propostos por Lowe's (2004).

A segunda etapa consiste na formação da nuvem densa de pontos, nesta etapa o software, baseado na posição estimada de cada imagem, produz uma informação relacionada a profundidade caracterizada por uma única nuvem de pontos.

A terceira etapa consiste na formação da malha, esta ferramenta cria a partir da nuvem de pontos um modelo poligonal, a partir do qual já se pode gerar o ortomosaico. O DATUM selecionado para a projeção foi o WGS 84/UTM zona 23S.

Figura 6– Diagrama de fluxo dos processos realizados no software *PhotoScan*



Fonte: Do Autor (2019)

Os ortomosaicos foram inseridos no software ArcGIS 10.5. Porém, para que a informação numérica contida nas imagens pudesse ser utilizada, foi necessário realizar a normalização das bandas conforme a seguinte equação (Equação 1) (ARROYO et al., 2016; WOEBBECKE et al., 1995):

$$r = \frac{R}{R + G + B}, g = \frac{G}{R + G + B}, eb = \frac{B}{R + G + B} \quad (1)$$

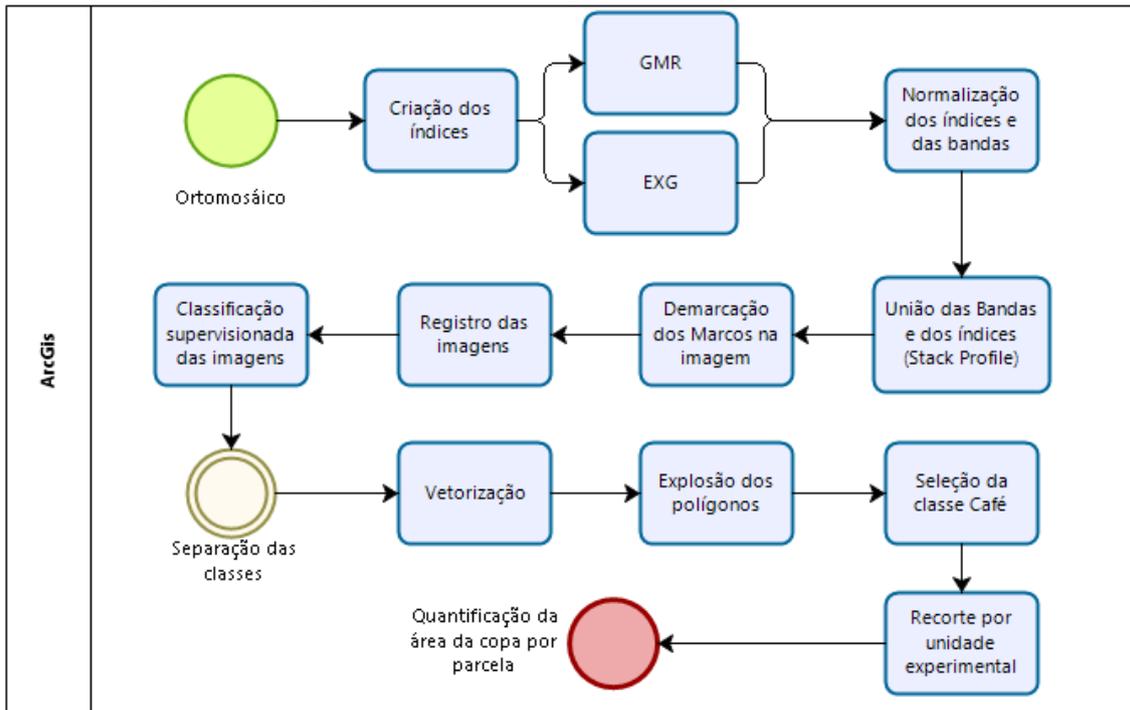
Visando uma melhor discriminação entre as plantas e o solo foram utilizados os índices Excess Green (ExG) (Equação 2) e o Excess Green Minus Excess Red (EXGR) (Equação3):

$$ExG = 2g - r - b \quad (2)$$

$$EXGR = ExG - 1.4r - g \quad (3)$$

Posteriormente foram feitos o corregristo, classificação e vetorização das imagens. Este software também foi utilizado para a demarcação das parcelas nos ortomosaicos, para isto foi utilizado um voo base na qual foram colocados marcos ao início e final de cada parcela. Estes marcos foram identificados na foto, e permitiram uma boa demarcação da área de estudo.

Figura 7 – Diagrama de fluxo dos processos realizados no software ArcGIS

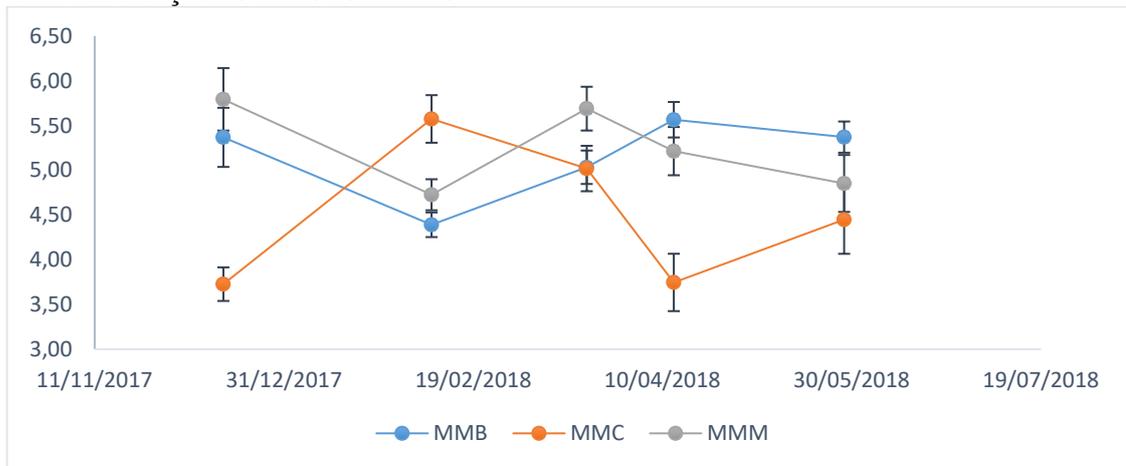


Fonte: Do autor (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

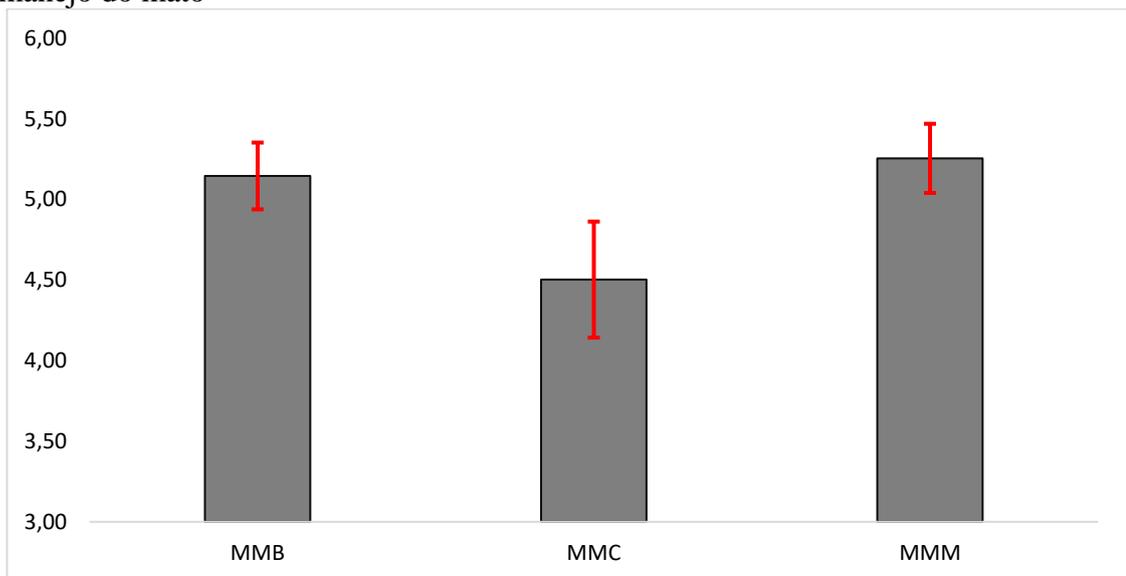
Foi constatada grande variabilidade dentro do fator manejo do mato (Figura 8), conforme os resultados indicam, a fotogrametria aplicada a imagens obtidas por VANT é capaz de identificar a variabilidade temporal da área da copa. Ao se utilizar desta técnica foi possível identificar a superioridade da braquiária e do mulching (Figura 8 e 9) no crescimento e manutenção da área da copa.

Figura 8– Comportamento da área da copa dos cafeeiros (m^2) para os diferentes tipos de manejo do mato em relação às datas estudadas.



Fonte: Do autor (2019)

Figura 9 – Análise marginal da área da copa dos cafeeiros (m^2) em relação aos diferentes tipos de manejo do mato



Fonte: Do Autor (2019)

Os resultados encontrados na figura 8 corroboram com Ragassi (2016), que ressalta o efeito sinérgico da braquiária no crescimento do cafeeiro, que segundo este se justifica pela diminuição da temperatura do solo e consequente redução da morte das raízes responsáveis pela absorção de nutrientes e água bem como na liberação de hormônios promotores de crescimento.

Nesta mesma área experimental Castanheira (2018) encontrou maior altura de plantas, maior número de ramos e maior comprimento do primeiro ramo plagiotrópico no tratamento

com braquiária e *mulching* em relação ao manejo convencional para o período de julho de 2016 a julho de 2017, corroborando os resultados obtidos.

Além destas características a braquiária promove o aumento da qualidade físico-hídrica do solo, provocado pela conversão de macroporos em microporos. Fazendo com que haja um aumento de 18% na água prontamente disponível do solo, melhorando o ambiente radicular e justificando o maior crescimento em situações de stress hídrico (Rocha,2016).

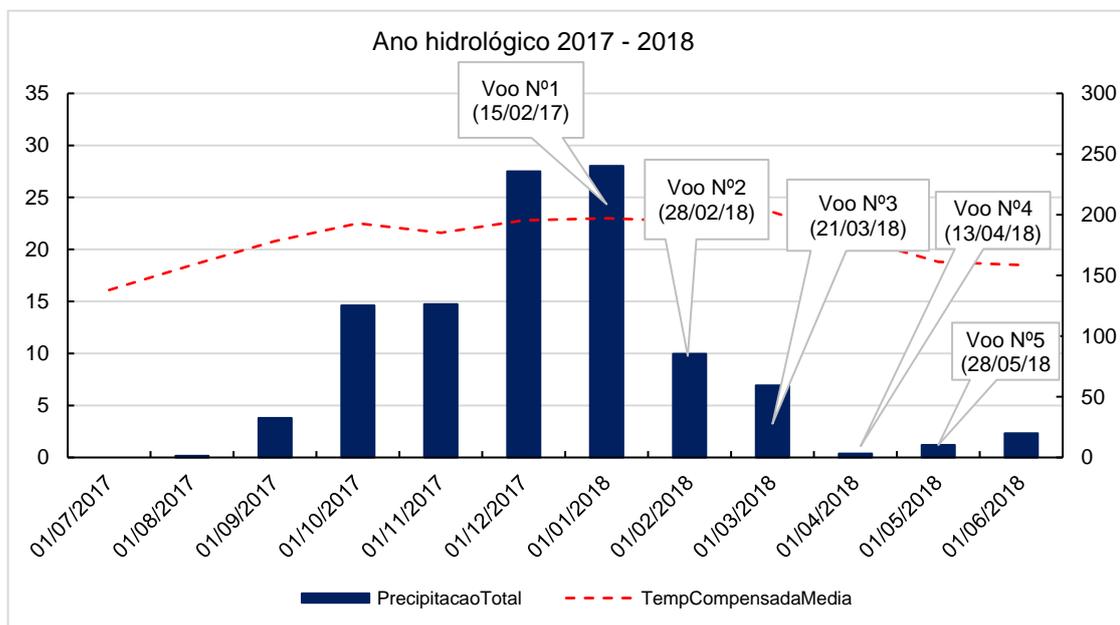
Assim como encontrado por Castanheira (2018), o *mulching* se mostrou superior aos demais tratamentos para características ligadas a crescimento de plantas na maioria dos meses estudados. Este crescimento adicional já havia sido descrito anteriormente por Barbosa (2015)

É importante ressaltar que a braquiária, diferente do *mulching*, promove também o fornecimento de N para a cultura (PEDROSA et al., 2014), provocando como efeito secundário maior número de folhas e diâmetro do caule, assim como também descrito por (PEDROSA et al., 2014).

A ascensão do manejo convencional nos meses jan/fev (Figura 8) ressalta uma característica intrínseca do cafeeiro que tem seu crescimento reduzido em função do excesso de umidade do solo. O Latossolo presente no local apresenta boa drenagem e textura argilosa, o que assegura uma boa retenção de água.

Porém verifica-se que o excedente hídrico de novembro a janeiro (Figura 10) provocou um efeito prejudicial, evidenciado em fevereiro através dos tratamentos que aumentam a retenção de água no solo. Os resultados obtidos para este mês vão de encontro aos de Castanheira (2018), isso se justifica pelo volume de chuva do intervalo de nov/jan que para o ano 2016/2017 foi de 492mm e em 2017/2018 foi de 601mm.

Figura 10 – Precipitação em Lavras-MG durante os anos de 2017-2018 com destaques para os meses em que voos foram realizados.



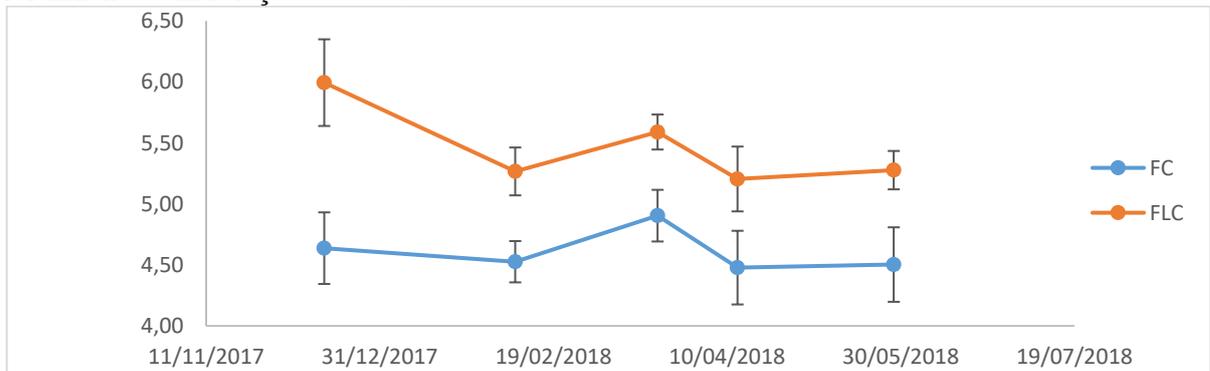
Fonte: Do autor (2018)

Verifica-se que houve grande variabilidade para o tratamento manejo do mato convencional (Figura 8), o que pode ser devido ao sistema ser menos “tamponado” que os demais estando sujeito a variações mais acentuadas de temperatura, umidade e evapotranspiração (TIECHER, 2016). É importante observar o comportamento deste tratamento entre o mês de março a abril (Figura 8), no qual a diminuição do regime hídrico propiciou um déficit hídrico acentuado pela ausência de cobertura resultando em uma diminuição intensa na área da copa.

Estas variações provocadas pela ausência do manejo conservacionista tornam o ambiente hostil para a planta e a todo o ecossistema do solo promotor de crescimento. Os resultados apresentados demonstram a importância do manejo do mato visando a garantia da disponibilidade hídrica e consequente translocação de fotoassimilados, abertura e fechamento de estômatos, turgescência celular e por fim crescimento de plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

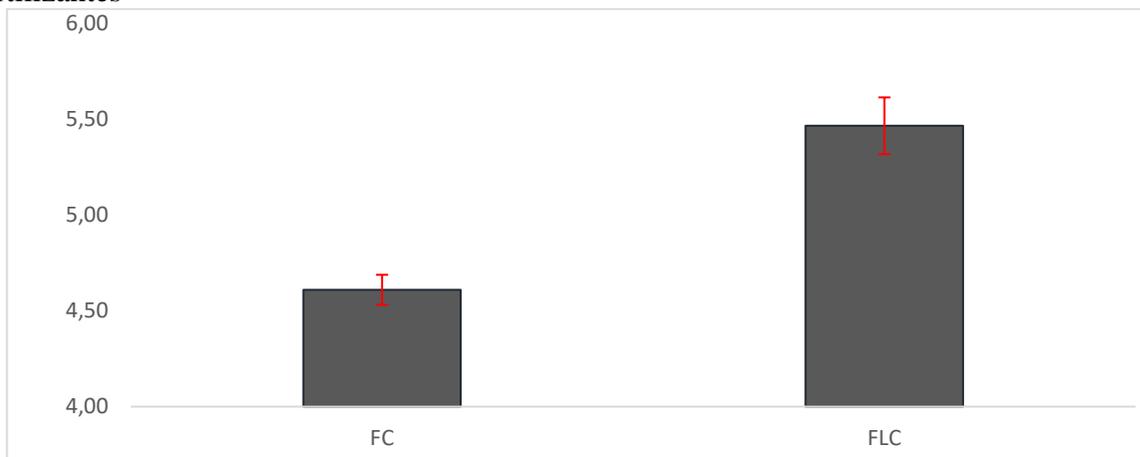
A figura 11 demonstra o comportamento do fertilizante de liberação controlada e do fertilizante convencional. Por meio desta verifica-se a mesma tendência para os dois tratamentos durante toda a série histórica estudada. Assim como ilustrado na figura 11 e 12 o fertilizante de liberação controlada proporcionou uma maior área da copa do cafeeiro, em média $0,86\text{m}^2$ superior por parcela.

Figura 11 – Comportamento da área da copa dos cafeeiros (m²) para os diferentes tipos de fertilizantes em relação as datas estudadas.



Fonte: Do autor (2019)

Figura12 – Análise marginal da área da copa dos cafeeiros em relação aos diferentes tipos de fertilizantes



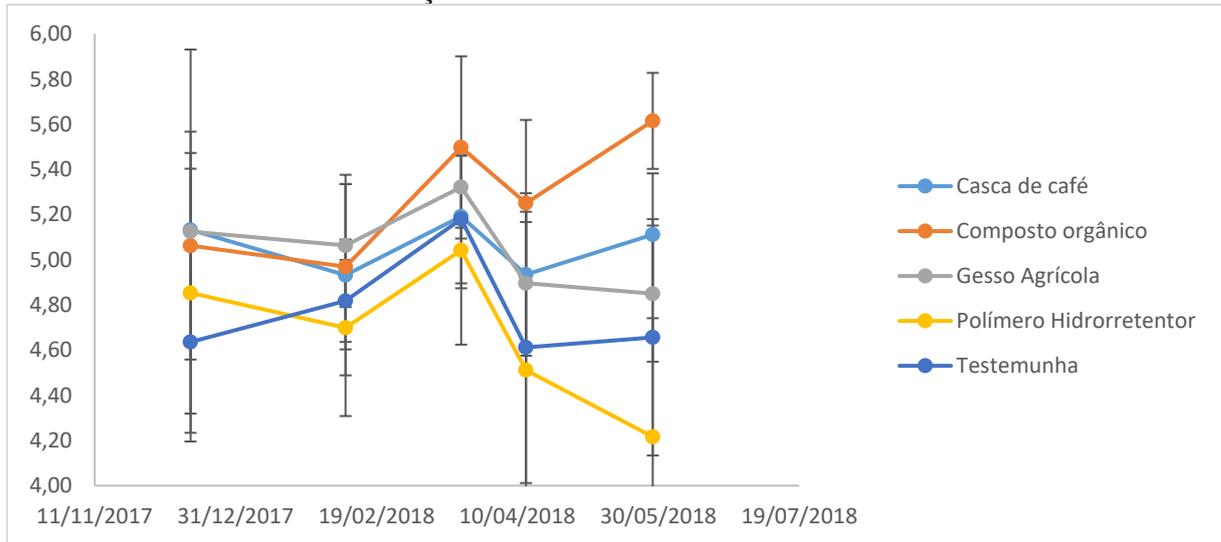
Fonte: Do Autor (2019)

Este aumento pode advir de um maior crescimento inicial, assim como descrito por Marques (2013). Essa diferença foi possivelmente provocada durante o ano agrícola de plantio (2016/2017). Entre os fatores que podem promover este incremento estão o aumento das trocas gasosas do cafeeiro e da taxa fotossintética das plantas ao se utilizar do fertilizante de liberação controlada (CASTANHEIRA, 2018).

Ao se analisar estatisticamente os condicionadores de solo na escala temporal (Figura 13) verifica-se que de maneira geral houve um comportamento crescente da área da copa do cafeeiro até o mês de fevereiro quando começa a decair retomando o crescimento em meados

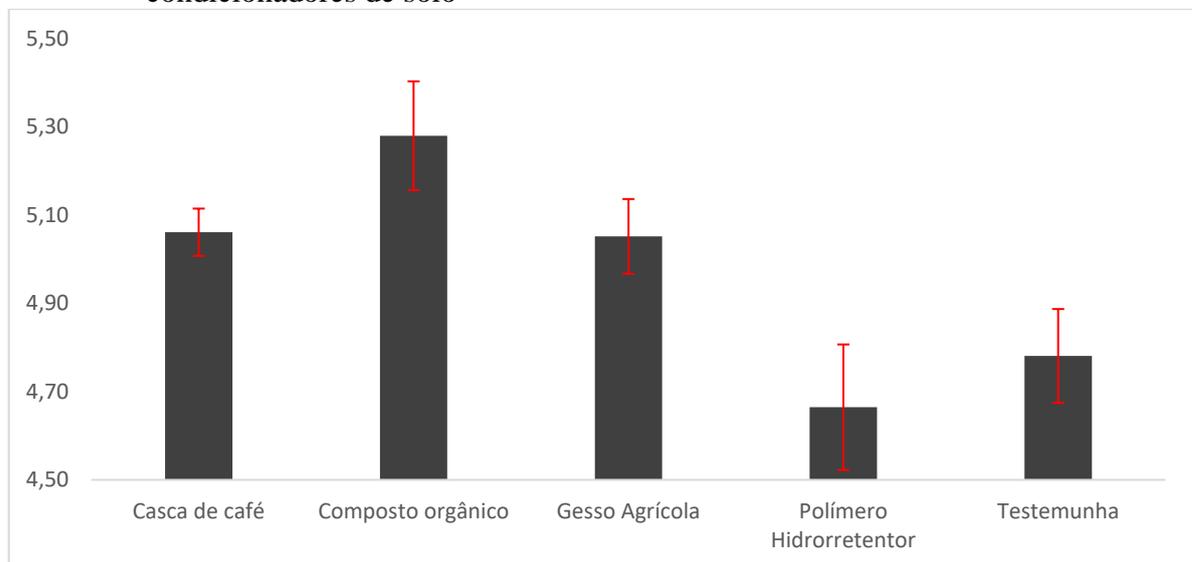
de abril. Foram classificados 3 grupos de médias (Figura 14) nos quais o composto orgânico obteve o melhor resultado seguido de casca de café e gesso agrícola, que foram estatisticamente iguais, e por último polímero hidrorretentor e testemunha.

Figura 13 – Comportamento da área da copa dos cafeeiros (m²) para os diferentes tipos de condicionadores de solo em relação as datas estudadas.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 14 – Análise marginal da área da copa dos cafeeiros em relação aos diferentes tipos de condicionadores de solo



Fonte: Do Autor (2019)

A diferença observada quanto aos condicionadores de solo pode ser originada da capacidade físico-hídrica de cada condicionador aliada à sua capacidade de assegurar a

disponibilidade hídrica necessária ao crescimento do cafeeiro. Conforme descrito por Castanheira (2018), a casca de café e o composto orgânico proporcionam maior teor de umidade no solo comparados aos demais.

Porém, diferente do observado em seu estudo, aqui não foi identificado um efeito antagônico entre o composto orgânico e o crescimento do cafeeiro, mas sim um efeito sinérgico entre eles. Isso pode ter ocorrido devido a precipitação acumulada referente ao mês de abril (Figura 10), verificou-se que em 2016 houve boa distribuição de chuvas neste mês, porém em 2017 houve um veranico nesta mesma época o que beneficia os condicionadores de maior capacidade físico-hídrica.

Adicionalmente, verifica-se uma redução na resistência a penetração do solo e conseqüente melhora no sistema radicular ao se utilizar de fontes orgânicas como o composto orgânico e palha de café (CASTANHEIRA, 2018). Outro fator de importância se deve a característica inerente a adubação orgânica, que requer tempo para expressar todas as suas qualidades no ambiente de cultivo.

Não foi observada a interação entre o crescimento da área da copa do cafeeiro e o polímero hidrorretentor (figura 14). Este comportamento já havia sido descrito anteriormente por Marques et al (2013), comparando características de crescimento em viveiro de mudas de café. Assim como Marques, Castanheira (2018) não observou respostas relevantes com a utilização do polímero.

Este comportamento segundo Castanheira (2018) é justificado este devido à ausência de déficit hídrico severo que suprimiram os benefícios desta tecnologia. Porém, esta hipótese vai de encontro ao resultado do presente trabalho, pois verificou-se a presença de veranico entre março e abril (Figura 10) e ainda assim não se observou a resposta do cafeeiro com a utilização do polímero.

5 CONCLUSÃO

A aplicação da fotogrametria embarcada em VANT é capaz de identificar a variabilidade da área da copa do cafeeiro. Corroborando resultados obtidos em avaliações a campo no ano anterior de cultivo.

Braquiária, *mulching*, fertilizante de liberação controlada e composto orgânico se mostraram eficientes para o crescimento e manutenção da área da copa.

Não se observou aumento no crescimento do cafeeiro ao utilizar o polímero hidrorretentor

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. **Estatísticas**. 2015. Disponível em: < <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#5103> > Acesso em: 09 de julho 2017.

ALVES, J. D. **Morfologia do cafeeiro**. In: Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. p. 35-58.

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Cultivares de Café**. EMBRAPA: Brasília, 2007.

ALVES, M. C. et al. Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 10, n. 12, 2009. p. 1-14.

ALZUGARAY, D.; ALZUGARAY, C. **Flora brasileira**. São Paulo: Três Livros e Fascículos, 1984.

ARROYO, J.; GUIJARRO, M.; PAJARES, G. An instance-based learning approach for thresholding in crop images under different outdoor conditions. **Computers and Electronics in Agriculture**, Athens, v. 127, 2016, p. 669- 679.

BARBOSA, Samara Martins. **Condicionamento físico hídrico do solo como potencializador do crescimento inicial do cafeeiro**. 2015. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

BÁRTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 187, p. 33-42, 1997.

BISPO, Rafael Carlos. **Utilização de dados do sensor Modis no monitoramento e mapeamento da cultura do café**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

CARVALHO, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. Cultivares de Café. Brasília: **EMBRAPA**, 2007.
CASTANHEIRA, Dalysse Toledo. **Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro**. 2018. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

CHEMURA, A. et al. Mapping spatial variability of foliar nitrogen in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations with multispectral Sentinel-2 MSI data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2018.

CHEN, J. M.; BLACK, T. A. Defining leaf area index for non-flat leaves. **Plant, Cell & Environment**. 1991.

CONSELHO NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - Café (Safra 2013), Terceiro Levantamento, setembro de 2013. [*online*]. Disponível

em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_09_15_34_48_boletim_cafe_-_setembro_2013.pdf> Acesso em julho de 2017.

CURI, Nilton et al. **Mapeamento de solos e magnetismo no campus da UFLA como traçadores ambientais**. Editora UFLA: Lavras, 2017.

FAHL, J. I. et al. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 6. ed. Instituto Agrônomo de Campinas: Campinas, 1995.

FAZUOLI, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Cultivares de Café**. EMBRAPA: Brasília, 2007.

FERRAZ, Gabriel Araújo e Silva. **Cafeicultura de precisão: análise econômica e uso da geoestatística**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FERREIRA, LR.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.T. Agricultura de Precisão. Editora UFV: Viçosa, 2000. p. 237-258.

FILETTO, F.; ALENCAR, E. Introdução e expansão do café na região sul de Minas Gerais. Organizações Rurais e Agroindustriais: **revista de administração da UFLA**, Lavras, v. 3, n. 1, art. 5, jan./jul. 2001.

FLUMIGNAN, D. L.; ADAMI, M.; FARIA, R. T. de. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee science**, Lavras, v.3, n. 1, 2008, p. 1-6.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Cafeeiro**. In: Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Editora UFV: Viçosa, 1999.

KE, L. I. U. et al. Estimating the crop leaf area index using hyperspectral remote sensing, **Journal of Integrative Agriculture**, 2016, p. 475-491.

KHOKTHONG, W. et al. Drone-Based Assessment of Canopy Cover for Analyzing Tree Mortality in an Oil Palm Agroforest, **Goettingen**, 2019. p. 5-7.

LINCOLN, N. E. **LI 3100 area meter**: instruction manual. USA, 1997.

LOWE, D.G, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, **International Journal of Computer Vision**, 2004, p. 91-110.

MARQUES, H. M. C. et al. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de co-polímero hidroabsorvente em adubação convencional e de liberação controlada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, 2013, p. 2994-3002.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. Projeto de Pesquisa – Universidade de São Paulo/FAPESP [online]. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br/download/CLP%202000.01.PDF>>. Acesso em 05 de novembro de 2019.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. Principles of Environmental Physics. 2nd. ed. Elsevier: London, 2013.

NOGUEIRA, S. M. C., MOREIRA, M. A., & VOLPATO, M. M. L.. Relationship between coffee crop productivity and vegetation indexes derived from oli / landsat-8 sensor data with and without topographic correction, **Engenharia Agrícola Online**, São José dos Campos, 2018. p. 390-392.

NOVO, Evelyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos, 2001.

OLIVEIRA, A. C. B. de.; PEREIRA, A. A. **Cultivares de café arábica desenvolvidas pela EPAMIG**. CAFEPPOINT: Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/variedades-de-cafe/cultivares-de-cafe-arabica-desenvolvidas-pela-epamig-47444n.aspx>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

OLIVEIRA, E. et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 6, jun. 2007.p. 827-831.

PÁDUA, T. S. **Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (Coffea arábica L.): um estudo no Sul de Minas Gerais**. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

PEDROSA, A. W. et al. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization, **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, 2014, p. 366-373.

PEZZOPANE, J.R.M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Poços de Caldas, **Anais...**, Poços de Caldas, 2003. p. 66-67.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura de precisão na produção de grãos**. In: Agricultura de precisão. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 1-41.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. J. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 12, jan. /Jul. 2013, p. 29-32.

RENA, A. B. et al. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, p. 73-85, 1996.

ROCHA, O. C. et al. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1476-1483, set. 2016.

ROOSJEN, P. P. J. et al. Wageningen, Improved estimation of leaf area index and leaf chlorophyll content of a potato crop using multi-angle spectral data – potential of unmanned aerial vehicle imagery, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformaaion**, 2018, p. 14-26.

ROTH, L. et al. Extracting leaf area index using viewing geometry effects — A new perspective on high-resolution unmanned aerial system photography. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2018, p. 161-175.

SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, Apr. 2012.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Árvore Agrícola: Campinas, 1997.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E. **Sistemas para agricultura de precisão: equipamentos e programas**. In: Mecanização e agricultura de precisão. Editora UFLA: Lavras, 1998.

SCOLARI, D. A. Tecnologia agropecuária como fator de desenvolvimento do país. [online]. Agrolink, 2006. Disponível em: < https://www.agrolink.com.br/colunistas/a-tecnologia-agropecuaria-como-fator-de-desenvolvimento-do-pais_384339.html>. Acesso em 05 de novembro de 2019.

SOUZA, J. C. S.; SILVA, F. M.; ALVES, M. C. Influence of manual harvest in the spatial variability of coffee yield and defoliation along two agricultural harvests. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UFPR, 2008. p. 1-4.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Artmed: Porto Alegre, 2013.
TIECHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Editora UFRGS: Porto Alegre, 2016.

VALÊNCIA, G. A. Relación entre el índice de area foliar y la productividad del cafeto. **Cenicafe**, Caldas, v. 24, n. 4, 1973.p. 79-89.

WOEBBECKE, D. M. et al. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 38, n. 1, 1995, p. 259-269
WRIGLEY, C., BATEY, I.; MISKELLY, D. Grain Quality: The Future is With the Consumer, the Scientist and the Technologist. **Cereal Grains – Elsevier Ltd.**, n. 2, 2017. p.704.

Z. SILVA. Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro, Enciclopédia Biosfera – **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.7, n. 13; 2011.

ZAFALON, M. Cafeicultura quer voltar aos bons tempos. Caderno Dinheiro (**Folha de São Paulo**), 1998, p. 12.