



LUCAS SANTOS SANTANA

**USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA
ANÁLISE QUALITATIVA NO PLANTIO DE CAFEIEIRO**

LAVRAS – MG

2019

LUCAS SANTOS SANTANA

**USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA ANÁLISE QUALITATIVA
NO PLANTIO DE CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz
Orientador

Prof. Dr. João Paulo Barreto Cunha
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santana, Lucas Santos.

Uso de aeronave remotamente pilotada na análise qualitativa no
plântio de cafeeiro / Lucas Santos Santana. - 2019.

66 p.

Orientador(a): Gabriel Araújo Silva Ferraz.

Coorientador(a): João Paulo Barreto Cunha.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Monitoramento aéreo. 2. Fotogrametria. 3. Qualidade de
processo. I. Silva Ferraz, Gabriel Araújo. II. Cunha, João Paulo
Barreto. III. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

LUCAS SANTOS SANTANA

**USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA ANÁLISE QUALITATIVA
NO PLANTIO DE CAFEIEIRO**

**USE OF AIRCRAFT REMOTELY PILOTED IN THE QUALITATIVE ANALYSIS IN
THE PLANTING OF COFFEE PLANTS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de julho de 2019.
Dr. Gabriel Ferraz e Silva Araújo UFLA
Dr. João Paulo Barreto Cunha UFRRJ
Dr. Virgílio Anastácio da Silva UFLA
Dr. Bernardo Moreira Cândido IAC

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família por todo apoio e carinho, são eles: meu pai, Osvaldino Borges Santana, minha mãe, Mara Andria dos Santos Santana, meus irmãos Mozarte Santos Santana, Jean Carlos Alvino dos Santos, Linda Mara Alvino dos Santos e minha namorada Josiane Maria da Silva. Obrigado por tudo.

Sou muito grato ao meu orientador, Gabriel Araújo e Silva Ferraz pela confiança e ensinamentos e por me apresentar uma área do conhecimento tão importante dentro da engenharia. Também pela amizade, orientação, confiança e ensinamentos, sempre de forma muita ética e humilde.

Ao coorientador João Paulo Barreto Cunha, pela disponibilidade e apoio nesse trabalho.

Tenho gratidão a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação. Ao companheirismo dos meus amigos da engenharia agrícola em especial da linha de máquinas e mecanização, que contribuíram com o desenvolvimento do trabalho.

Aos proprietários e funcionários da Fazenda Bom Jardim pela disponibilidade da área de pesquisa, sempre com alegria em nos receber na propriedade.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia pela oportunidade de realizar este mestrado por meio do Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola. À Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa concedida.

DEDICO

Aos meus pais, Osvaldino Borges Santana e Mara Andria dos Santos Santana, pelo amor incondicional e por todos os princípios transmitidos.

“O prazer no trabalho aperfeiçoa a obra” - Aristóteles

RESUMO

Tecnologias de agricultura de precisão contribuem com o monitoramento em várias etapas do manejo agrícola. Sensores a bordo de aeronave remotamente pilotada (ARP) são explorados sistematicamente, com o intuito de coletar informações da cultura e dar aporte a tomadas de decisões no campo. Em lavouras cafeeiras o sensoriamento remoto aéreo pode contribuir com observações acerca da qualidade das operações. A fase de implantação em culturas perenes é vista como uma das mais importantes, pois erros nesta etapa podem comprometer as próximas operações. Investigações a respeito da qualidade do plantio em lavouras cafeeiras podem auxiliar em melhorias nas técnicas de implantação da cultura. A partir desta premissa, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade de duas técnicas de plantio e plantio semimecanizado em terrenos de alta declividade por meio de controle estatístico de processo (CEP) de dados obtidos remotamente por ARP. Os experimentos foram realizados em uma propriedade rural no município de Bom Sucesso – MG. Conduzidos em três áreas cafeeiras com seis meses após a implantação. Na qual foram realizados voos a 30 metros de altura com uma ARP e rastreios com um par de receptores Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). No primeiro experimento, os testes foram realizados em uma área implantada com sistema de plantio manual e outra implantada com sistema de plantio semimecanizado. Com intuito de avaliar qualidade no alinhamento e distribuição, foi utilizado o CEP e mapas de densidade. No sistema semimecanizado foram plantadas 7% menos plantas do que o esperado, enquanto que no sistema manual foram plantadas 4,7% acima do projetado. A partir da análise CEP foram encontrados pontos de fora dos limites no sistema semimecanizado, sendo assim com melhorias o sistema pode apresentar melhores resultados. Verificou-se que o sistema manual apresenta variações intrínsecas no processo impossibilitando melhorias na qualidade. No segundo experimento, avaliou-se a qualidade do plantio semimecanizado em regiões com declividade entre 0-40%. Nesta área, que compreende 0,8 hectares, foram rastreados e georreferenciados 18 pontos para correções geométricas do modelo digital de terreno (MDT). Para o estudo de influência de declividade na qualidade do plantio foram utilizadas análises de variância e CEP. Os testes de médias demonstraram a baixa influência da declividade no alinhamento entre plantas na linha. A partir das cartas CEP, foi observado variações aleatórias no espaçamento entre linhas de plantio em maiores declividades. Erros consideráveis ocorreram em regiões com declividade acima de 25%, quando avaliado erros de espaçamento entre linhas de plantio. O estudo permitiu o conhecimento sobre o efeito das técnicas de plantio na qualidade da implantação do cafeeiro e a influência da declividade na qualidade do plantio semimecanizado. O sistema manual apesar de apresentar qualidade aceitável nas cartas CEP apresenta variações intrínsecas impossibilitando melhorias. Os erros mais relevantes foram encontrados quando são avaliados o alinhamento entre linhas de plantio. Quando o sistema semimecanizado é realizado em declividades entre 0-40%, não ocorre interferências significativas no alinhamento entre plantas na linha de plantio.

Palavras chave: Monitoramento aéreo, Fotogrametria, ARP, Qualidade de processo.

ABSTRACT

Precision farming technologies contribute to multi-step monitoring of agricultural management. Sensors aboard remotely piloted aircraft (RPA) are systematically exploited to collect crop information and support decision making in the field. In coffee farms aerial remote sensing can contribute to observations about the quality of operations. The implementation phase in perennial crops is seen as one of the most important due to errors in this stage may compromise the next operations. Investigations related to the quality of planting in coffee crops may help to improve the crop implantation techniques. Therefore, the objective of this research was to evaluate the quality of manual planting and semi-mechanized planting techniques in high slope lands by statistical process control (SPC) of data remotely obtained by RPA. The experiments were conducted in a farm located at the municipality of Bom Sucesso – MG, in three coffee areas six months after their implantation. In these areas were performed a 30 meters height flights with an RPA and point tracking with a pair of Global Navigation Satellite System (GNSS). In the first experiment, the tests were performed in an area implanted with a manual planting system and another area implanted by a semi-mechanized planting system. In order to evaluate quality in alignment and distribution were used the SCP and density maps. The semi-mechanized system planted 7% less plants than the expected, while the manual system planted 4.7% above projected. From the SCP analyses were found in the semi-mechanized system points out of bounds, so with improvements this system can present better results. It was found that the manual system presents intrinsic variations in the process, preventing improvements in quality. In the second experiment, the quality of semi-mechanized planting system in regions with a slope between 0-40% was evaluated. In an area of 0.8 hectares, 18 points were traced and georeferenced for geometric corrections of the digital terrain model (DTM). In order to study the slope influence on the quality of planting it was proceeded analysis of variance and SCP. The averages tests showed low influence of slope on the alignment between plants in the line. From the SCP analyses were observed random variations in the spacing between planting lines in higher slopes. When evaluated spacing errors between planting lines it was observed that considerable errors occurred in regions with slope above 25%. The study allowed the knowledge about the effect of transplanting techniques on the quality of the coffee plant implantation and the influence of the slope on quality of semi-mechanized plantingsystem. The manual system despite presenting acceptable quality in the SCP analyses presents intrinsic variations precluding improvements. The most relevant errors were found when the alignment between planting lines was evaluated. There is no significant interference in the alignment between plants in the planting line when the semi-mechanized system is performed in declivities between 0-40%.

Keywords: Aerial monitoring, Photogrammetry, RPA, Process quality.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Cafeeiro.....	14
2.2	Mecanização do plantio do cafeeiro	15
2.3	Cafeicultura de precisão.....	16
2.4	Sensoriamento remoto da vegetação	17
2.5	Aeronave remotamente pilotada na agricultura.....	18
2.6	Fotogrametria e modelo digital de superfície (MDS)	20
2.7	Controle estatístico de processo (CEP)	21
	REFERÊNCIAS.....	22
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	27
	ARTIGO 1 - QUALIDADE DE TÉCNICAS DE PLANTIO DO CAFEIEIRO POR MEIO DE SENSORES AÉREOS E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	28
	ARTIGO2 - DESEMPENHO DO PLANTIO SEMIMECANIZADO DO CAFEIEIRO EM DIFERENTES INCLINAÇÕES DO TERRENO	45

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente o Brasil é conhecido pelo seu alto potencial agrícola. Nacionalmente a agricultura é atividade que mais influencia o PIB brasileiro e garante o superávit na balança comercial. Entre as principais atividades que contribuem para o bom índice do agronegócio está a cafeicultura. Apesar dos bons índices de produtividade, existe a necessidade constante de melhoria na cafeicultura, o que é fundamental para atingir necessidades mundiais de consumo e contribuir com segurança alimentar, sustentabilidade e desenvolvimento nacional.

O campo produtivo do cafeeiro vem mudando nos últimos anos, devido à chegada de novas tecnologias no campo. O desenvolvimento de máquinas e sistemas de monitoramento está contribuindo com o emprego de mão de obra especializada no campo, as quais podem ser aplicadas em todo processo produtivo. A evolução da mecanização agrícola ocorre em várias escalas da cultura e com isso novos testes podem ser realizados, comprovados e aplicados, a fim de obter modelos eficientes de manejo.

A operação de implantação do cafeeiro é uma das fases mais importantes. Por se tratar de cultura perene, erros na implantação podem comprometer o manejo por vários anos. A escolha correta do sistema de implantação ocorre de acordo com a disponibilidade de máquinas, mão de obra e condições edafoclimáticas. Após o plantio das mudas é necessária uma vistoria na lavoura, com o intuito de identificar possíveis falhas. O acompanhamento tradicional de possíveis anomalias busca identificar variáveis a campo que possam interferir na produtividade. São práticas de monitoramento manual, que consistem em caminhar em todo o campo de produção e identificação de falhas e mudas tombadas.

De forma a melhorar a prática de monitoramento a campo, técnicas de sensoriamento remoto em áreas agricultáveis estão se tornando cada vez mais exploradas. Essas investigações se iniciaram com o uso de imagens oriundas de sensores em satélites, geração de índices de vegetação e relação entre respostas espectrais e anomalias no campo. O uso de sensoriamento remoto na agricultura é cada vez mais evidente, exigindo imagens de alta qualidade e em curtos espaços temporais.

Para trabalhos em sensoriamento remoto aéreo, atualmente imagens são coletadas por meio de aeronaves remotamente pilotadas (ARP). Consideradas pequenas aeronaves, são controladas remotamente com autorização para voos de até 120 metros de altura que são capazes de produzir fotografias aéreas com missões pré-definidas por meio de câmeras de alta resolução. No âmbito de agilizar as tomadas de decisões a campo esse novo sistema de acompanhamento remoto disponibiliza informações valiosas nas mãos de técnicos e produtores

rurais, produzindo mosaicos em cor natural e índices de vegetação que vem sendo aplicados de forma sistemática. Isso pode gerar diversas aplicações a campo como: identificação de possíveis doenças, déficit hídrico, deficiência nutricional, taxa de crescimento, formação de copa, monitoramento de semeadura, plantio e plantio.

Investigações acerca da qualidade do plantio manual podem contribuir com tomadas de decisões na escolha da implantação. O plantio manual mesmo considerado de alto custo ainda é utilizado nas lavouras cafeeiras que apresentam limitações quanto ao uso de máquinas. O plantio semimecanizado apesar de altos rendimentos na implantação ainda enfrenta problemas em relação a erros no alinhamento entre linhas de plantio e entre plantas na linha. Esses erros podem afetar diretamente técnicas de manejo, como: adubação, pulverização, colheita, roçagem e quantidade de plantas por hectare.

Em áreas de declividades acentuadas o desempenho da qualidade do plantio semimecanizado ainda é pouco encontrado na literatura. Alguns autores reconhecem áreas de 20% de declividade como inaptas a mecanização como um todo. Estudos sobre aptidão de mecanização foram realizados com métodos convencionais para obtenção de MDT. Portanto, como o levantamento é feito em malhas, pode existir algumas incertezas para essa definição.

Quando se realiza coleta de dados por ARP e, posteriormente, correção geométrica por meio de pontos de controle, o modelo digital de terreno considera todos os pixels da imagem como ponto coletado. Essa tecnologia pode fazer com que o usuário identifique áreas com altas variações na declividade, nas quais podem interferir na escolha do tipo de manejo a ser utilizado.

A visão de agricultura 4.0, trouxe para operações agrícolas algumas técnicas utilizadas em processos industriais. Cartas de controle de processo (CEP), que iniciaram na indústria atualmente são aplicadas na agricultura. Seus resultados podem contribuir com melhorias em processos de manejo como, colheita, preparo de solo, pulverização e plantio de mudas. Este tipo de técnica faz com que o analista identifique pontos que ocasionam erros no processo por meio de cartas de controle. Partindo da hipótese que tecnologias de sensoriamento remoto aéreo e cartas de controle de processo podem auxiliar em investigações acerca de identificar erros no plantio, com este trabalho objetivou-se avaliar a qualidade de diferentes sistemas de plantio em lavouras cafeeiras por meio de controle estatístico de processo e Aeronave Remotamente Pilotada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico serão apresentados os principais temas ligados a cafeicultura de precisão. Inicialmente será abordada a importância do café no agronegócio, fisiologia e anatomia do cafeeiro, para facilitar o entendimento dos processos seguintes. No tocante a técnicas de mecanização agrícola, serão descritos os tipos de preparo de solo e técnicas de plantio, ressaltando a importância da mecanização agrícola na gestão da cafeicultura. O sensoriamento remoto é tido como uma das principais tecnologias da agricultura de precisão. Sobre esta técnica serão apresentadas fundamentações teóricas relacionadas com a vegetação e modelos digitais de elevação (MDT), adquiridas por meio de sensores orbitais e aéreos.

Pesquisas com ARP na agricultura serão exploradas de forma a compreender o funcionamento, suas vantagens e aplicações. O conhecimento prévio de técnicas fotogramétricas pode auxiliar nas tomadas de decisão sobre o tipo de voo e processamento a ser feito, bem como prever o produto final do levantamento. Para o tratamento de parte dos dados coletados em levantamento aéreos, podem ser aplicadas algumas análises estatísticas. O controle estatístico de processo, pode ajudar a compreender as informações obtidas pelo ARP, com isso possíveis erros encontrados no plantio de mudas podem ser observados e ajustados.

2.1 Cafeeiro

O café é cultivado em mais de 60 países tropicais, compondo uma área aproximada de 11 milhões de hectares por um número estimado de 25 milhões de agricultores (LÄDERACH et al., 2019). Relatórios sobre o mercado do café (USDA, 2018), indicam o Brasil como maior produtor mundial, seguido de Vietnã e Colômbia. Segundo a estimativa da safra 2018/19 a produção mundial foi revisada e indica um recorde absoluto de 174,5 milhões de sacas (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION – ICO, 2019).

Em países tropicais, duas espécies de café se destacam por suas altas adaptabilidades e produtividades, agregando alto valor comercial, *Coffeacanefera* Pierre (conhecido como café robusta) e *Coffea arabica* L (café arábica) (BELITZ; GROSCH; SCHIEBERLE, 2009; CASAS et al., 2017; NOWAK; DAVIS; YODER, 2012). O café Arábica, foi descrito pela primeira vez por Linnaeus em 1753. Evidência botânica indica que a espécie *Coffea arabica* se originou nos planaltos da Etiópia central, onde ainda cresce selvagem (GONZAGA et al., 2006).

No Brasil a cultura do café apresenta alta produtividade. Seu desenvolvimento está associado as condições climáticas e aplicação de tecnologias em algumas regiões. Minas Gerais

é o estado brasileiro que mais se destaca na produção cafeeira responsável por cerca de 53% da produção nacional, seguido por Espírito Santo, São Paulo e Paraná (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2018).

2.2 Mecanização do plantio do Cafeeiro

Avanços importantes vêm ocorrendo no setor agrícola, principalmente em culturas com alto envolvimento de pessoas no manejo, tais como cana de açúcar, citros e café. A região sudeste do Brasil se destaca nesses avanços, proporcionados não só pelas condições climáticas e ambientais, mas também por conta do seu elevado emprego de mecanização na atividade (SILVA et al. 2006).

A adoção de técnicas mecanizadas e semimecanizadas no campo, que outrora eram realizadas de forma manual, passaram a ser executadas de maneira mais eficiente, aumentando assim a capacidade operacional dos sistemas e reduzindo custos (ANDRADE et al., 2018). A mecanização da lavoura cafeeira é um processo relativamente novo. Operações antes realizadas exclusivamente por trabalhadores passaram a ser realizadas por tratores, colhedoras e implementos agrícolas, o que permitiu maior agilidade nos trabalhos realizados (CUNHA et al., 2016). Portanto para implementação de mecanização na lavoura cafeeira a declividade é um ponto importante a ser considerado. Altas variações de declividade no terreno correspondem a uma das principais características que influenciam no desempenho operacional e até limitação no uso de máquinas (GUIMENES et al. 2017). No campo cafeeiro a potencialidade da mecanização em relação a declividade é classificada como: extremamente apta (0 a 5%), muito apta (5,1 a 10%), apta (10,1 a 15%) moderadamente apta (15,1 a 20%) e não recomendado (> 20%) (HÖFIG e ARAUJO-JUNIOR 2015).

Os cafeeiros formados por meio do plantio mecanizado associado à melhor uniformidade no posicionamento das plantas atuam como fator importante para a produção da lavoura. Influenciando a qualidade e produtividade dos grãos, bem como os tratamentos culturais e a colheita mecanizada (SILVA et al., 2014). Uma lavoura cafeeira pode ser implantada por três formas de preparo do solo: convencional, que é constituído pelos processos de aração, gradagem e sulcagem para posterior plantio (APARECIDO et al. 2017). O cultivo mínimo também conhecido como plantio direto, na qual a mecanização adotada neste sistema procura agregar operações em um único equipamento. Em seguida, há o método de plantio em covas, que é utilizado uma broca rotativa acoplada no trator e abrindo furos em distâncias pré-definidas.

Na segunda etapa da implantação é realizado o plantio. Nesta fase são depositadas as mudas dentro dos sulcos, realizados no preparo do solo. Esta técnica pode ser realizada de três formas: manual, semimecanizado e mecanizado. O plantio manual compreende primeiramente em marcações de covas no espaçamento adotado. Para isso são esticadas cordas de 50 a 60 m de comprimento, com marcas seguindo o espaçamento definido para cultura. Estas cordas são esticadas e as covas abertas com enxadão, chuçó ou pá chilena, nos locais definidos pela marca. Após abertura de sulco a corda é deslocada paralelamente à outra linha, em seguida, as mudas são distribuídas manualmente em cada cova e após são ajeitadas nas covas, chegando terra até a altura do colo da planta (Galvão 2000).

O plantio semimecanizado consiste em depositar mudas dentro dos sulcos preparados por meio de uma plataforma, transportando caixas de mudas, onde a máquina realiza a abertura do sulco, e com base na rotação do odômetro corre a deposição de mudas, o fechamento subsequente do sulco, e, em seguida, a compactação do solo que é realizada manualmente (CUNHA et al., 2018). O mecanismo transplantador possui um disco vertical, no qual as mudas são presas após serem colocadas pelo auxiliar de plantio. As mudas são colocadas na parte superior do disco e com o deslocamento da máquina o disco gira e a muda chega ao sulco.

O plantio mecanizado consiste em um conjunto mecanizado (trator + transplantadora), com uma prévia adubação em linha e uma posterior disposição das mudas na área. A diferença desse sistema para o semimecanizado é a redução de mão de obra, nesse tipo de operação só envolve um trabalhador na plataforma (MACHADO et al., 2015). Embora vários autores expliquem os tipos de plantio, este tipo de operação ainda requer estudos a respeito de desempenho e precisão, apresentando dados de eficiência de cada sistema, deixando claro ao produtor qual tipo deve ser usado para cada situação.

2.3 Cafeicultura de precisão

Agricultura de precisão é considerada a habilidade em acessar e monitorar atividade agrícola, objetivando aumentar a produtividade por meio de técnicas que devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável. Para identificar zonas com características próprias, visando o manejo de acordo com suas necessidades (TSCHIEDEL e FERREIRA 2002), esta técnica surge como um conjunto de tecnologias, capazes de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias de manejo a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento do processo de produtivo (OLIVEIRA et al., 2007).

No âmbito de contribuir com aumento de produtividade, tecnologias de agricultura de precisão são aplicadas na cafeicultura. Pesquisas de Kouadio et al., (2018) abordaram aplicações de 18 diferentes modelos baseados em ELM com combinações únicas e múltiplas de variáveis preditoras baseadas na matéria orgânica do solo (MOS), potássio, boro, enxofre, zinco, fósforo, nitrogênio, cálcio permutável, magnésio e pH. Comparando a ferramentas preditivas existentes: regressão linear múltipla (MLR) e floresta aleatória (RF). Carrijo et al (2017), propôs por meio de segmentação, a identificação de frutos maduros do cafeeiro a partir de imagens coletadas com aeronave remotamente pilotada (ARP). Na cafeicultura de precisão algumas tecnologias vêm sendo testadas. Aplicações emergentes como a captura de imagens aéreas por meio de ARPs são cada vez mais frequentes em campos de café.

2.4 Sensoriamento remoto da vegetação

A identificação dos padrões da distribuição de biodiversidade, ciclos fisiológicos, modificações na morfologia oferecem informações importantes sobre feições climáticas, edáficas geológicas e fisiografias de uma região. Técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicadas a diferentes coberturas vegetais, tais como: agricultura, floresta, paisagem nativa, planície de inundação e vegetação urbana (JENSEN, 2009).

Sensores orbitais ou em plataformas podem detectar propriedades vegetativas fundamentais que vinculam propriedades físicas à teoria ecológica e fornece bases de dados espaciais e temporais com cobertura consistente e completa (USTIN; GAMON, 2010). Avanços significativos marcaram o sensoriamento remoto da vegetação nos últimos 50 anos, melhorando sensores e identificando estruturas fenológicas e bioquímicas e escalas espaciais e temporais, indicando estar próximos a uma nova era monitoramento da vegetação (HOUBORG; FISCHER; SKIDMORE, 2015).

O sensoriamento remoto por meio de dados adquiridos por sensores orbitais ou em plataformas aéreas está atualmente passando por uma transição com o surgimento e desenvolvimento de sensores de alta resolução (BENEDIKTSSON; CHANUSSOT; MOON, 2012). A fim de gerir informações a curto espaço de tempo e em momentos críticos das culturas, agricultores e profissionais, busca-se obter informações em diversos estágios vegetativos, para melhor desenvolvimento e tomadas de decisão no campo. Diante disto, sensores remotos fornecem informações valiosas e específicas a curto tempo adequando-se as necessidades da agricultura de precisão (CHEMURA; MUTANGA; DUBE, 2017; HABOUDANE et al., 2002).

A identificação de feições vegetativas do cultivo de café por meio de sensores remotos é explorada sistematicamente, auxiliando na identificação da sanidade da lavoura, revelando possíveis sintomas de fitopatógenos, deficiências conclusões relacionadas à produtividade. Valores de reflectância de uma lavoura cafeeira são influenciados pelas direções de plantio, espaçamento da lavoura, época do ano e idade das plantas. A partir de índices de vegetação obtidos por meio de imagens Landsat 8. Nogueira, Moreira e Volpato (2018) concluíram que índices SAVI e NDWI apresentaram correlação na fase de florescimento no ano de alta produtividade.

A utilização de imagens de satélite para identificação de variáveis físicas, como altimetria, foi aplicada no agrossistema cafeeiro no estado no Paraná, a qual Trabaquini et al. (2010) concluíram que o uso de sensores orbitais para estudos de macrorregiões apresenta alta precisão. Também podem ser comparados com levantamentos agropecuários realizados por órgãos governamentais.

O uso de imagens orbitais com altas resoluções espaciais tem sido aplicado nas identificações de padrões na cafeicultura. Informações espectrais são fundamentais para obter uma acurácia mais elevada na identificação de respostas da vegetação. Melhorias no processo se fazem necessárias, pois, apesar de bons resultados, ainda são encontradas confusões nas classificações de alvos (SOUZA et al. 2016).

2.5 Aeronave remotamente pilotada na agricultura

Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) são ferramentas tecnológicas de maior pesquisa e aplicação em áreas como fotogrametria aérea e sensoriamento remoto, surgindo como uma alternativa importante para a captura de imagens de alta resolução, espacial e temporal (TORRADO; JIMÉNEZ; DÍAZ, 2016). Realizam missões de voo permitidas até 120 metros de altura, seguindo uma programação pré-estabelecida coletando informações por meio de fotografias aéreas, para fins civis e militares, com um potencial para realizar várias tarefas, sem risco para a equipe (SUDHAKAR; KARTHIKEYAN; VENKATAKRISHNAN, 2017; KLAVINS; ZAGURSKY, 2017).

Coletas de dados fotogramétricos são consideradas missões de inspeção alcançadas quando se tem um plano de voo pré-definido, onde o ARP segue uma rota já estabelecida para coleta de dados fotogramétricos do meio ambiente. Essas informações podem ser transmitidas em tempo real ou armazenada em cartões de memória (VALE; VENTURA; CARVALHO, 2017). As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) recentemente se aproximam cada vez mais

da agricultura de precisão com avançados sistemas de controle altitude e posicionamento, carregando a bordo câmeras digitais de altas resoluções. Aplicando estas ferramentas às técnicas de sensoriamento remoto forma-se um conjunto para melhoria de monitoramento remoto agrícola (LELONG et al., 2008).

ARPs do tipo Quadricopteros caracterizam-se por sua decolagem vertical. Este sistema consiste em quatro rotores formados em cruz simétricas e em cada extremidade há um conjunto de hélices do motor de propulsão, portanto se tem mais estabilidade em relação ao helicóptero convencional, pois não é necessário mudar o ângulo de ataque de suas hélices para gerar os movimentos (SOSA et al., 2017). Quadricopteros possuem 4 rotores de impulsão com características superiores aos dos helicópteros, apresentando mecanismos mais simples, baixo custo de produção operação e manutenção (NAVABI; MIRZAEI, 2017). A vantagem das ARPs em forma de multirotores em relação ao de asa fixa é a estabilidade oferecida por esse modelo na captura de imagens e agilidade na forma de pouso e decolagem (GOH et al., 2017).

O controle de navegação e cumprimento de missões é feito por meio do sistema global de navegação via satélite (GNSS). Assim, como possuem sensores de mediação de inércia IMU (unidade de mediação inercial), aplicam cálculos complexos na estabilização e controle alcançando uma ótima trajetória de voo (PEREZ-MONTENEGRO; LOTUFO; CANUTO, 2013).

O uso de ARPs em campos de produção vem ganhando espaço, pois são capazes de gerar respostas espectrais rápidas mostrando a situação atual da lavoura. Métodos de processamento rápido e geração de índices de vegetação entram como ferramentas importantes para o entendimento desses dados. Com altas resoluções espaciais, cenas obtidas por meio de ARPs conseguem detalhes suficientes para monitoramento agrícola com precisão.

Quando comparados a imagens oriundas de satélites, as ARPs são capazes de objetivar o trabalho no campo com flexibilidade, pois operam com missões pré-definidas e em horários adequados para melhor qualidade da cena (ZHOU et al., 2016). Para tanto algumas ferramentas de tratamento de imagem se destacam, como o uso índices de área foliar verde (LAI), que vem ganhando espaço na comunidade científica, realizando investigações sobre respostas espectrais de dossel e atmosfera, levando o desenvolvimento de diferentes técnicas que podem ser aplicas a vários aspetos de vegetação (HABOUDANE et al., 2004).

Técnicas de sensoriamento remoto por meio de ARPs podem fornecer um meio adicional ou alternativo para a avaliação do desenvolvimento do cafeeiro nas épocas de maturação de colheita (JOHNSON et al. 2004). Sensores multiespectrais acoplados em ARPs apresentam capacidade de identificar teores de água na vegetação cafeeira. A aplicação de

sensoriamento aéreo no planejamento de irrigação de precisão traz benefícios em termos de produtividade das culturas e na redução de perdas desnecessárias associadas a irrigação (CHEMURA MUTANGA E DUBE 2017).

Por meio de ARP é possível obter medidas indiretas de altura e diâmetro de copa de cafeeiros utilizando imagens capturadas por câmeras embarcadas, com a possibilidade estimar parâmetros vegetativos, realizar análise da porcentagem de cobertura e índice de área foliare mapear coeficiente de cultura (K_c) ao longo do ciclo (GONÇALVES L.M et al., 2018). Conforme apresentado, na literatura existem algumas investigações acerca de características vegetais do cafeeiro por meio de sensores aéreos, mas ainda não são encontradas pesquisas abordando a qualidade de sistemas de plantio, influências da declividade e propostas para melhoria nas operações de plantio.

2.6 Fotogrametria e modelo digital de superfície (MDS)

O termo Fotogrametria surgiu no ano de 1855, criado pelo geógrafo Kersten e foi introduzido por Albrecht Meydenbauer (1834-1921) na literatura internacional em 1893, ao fotografar edificações de grande valor arquitetônico na Alemanha. Esse progresso iniciou-se com a fotogrametria terrestre simples, passou pela terrestre estereoscópica e nas versões aéreas usou como plataformas pombos e balões antes da invenção do avião, a qual adaptou-se rapidamente. No Brasil, o desenvolvimento da fotogrametria acompanhou essas técnicas com poucos anos de atraso (SILVA, 2015).

Levantamentos com sensoriamento remoto clássico no monitoramento da cobertura superficial terrestre ainda enfrenta algumas barreiras relacionadas com baixa resolução espacial e resolução temporal. Diante disto, a análise fotogramétrica baseada em aeronaves remotamente pilotadas (ARP) é uma opção para adquirir dados de geoinformação com alta resolução espacial. O uso dessa plataforma, neste caso, oferece vantagens importantes em comparação com os métodos tradicionais, pois pode reduzir custos e tempo para a obtenção de imagens (GRAÇA; MITISHITA; GONÇALVES, 2017). Nos dias atuais a fotografia aérea ou fotogrametria, atinge altos níveis de confiabilidade e praticidade, para tanto o uso de ARP se tornou uma plataforma útil para aquisição de dados espaciais (WATANABE; KAWAHARA, 2016).

É significativa a evolução da fotogrametria por meio de ARPs. Em estudos de caracterização de relevo é aplicado em situações que a topografia clássica é menos eficiente ou inviável. Sensores a bordo de ARPs não somente capturam respostas espectrais de vegetação,

mas também informações valiosas sobre o relevo como: Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Terreno (MDT), dispensando a presença de trabalhadores em lugares de alta declividade (AGÜERA-VEGA et al., 2018). Modelo digital de Superfície (MDS), em alta resolução especial e precisão vertical é considerado de alta importância, principalmente em ambientes que necessitam de reconstrução tridimensional do ambiente (MANCINI et al. 2013).

Para reconstrução de MDS a partir de imagens aéreas, são aplicados algoritmos computacionais. Conhecidos como *structure – from – motion* são processos de visão computacional com objetivo de reconstruir a geometria da cena em 3D. Este conjunto de imagens é formado a partir da calibração do movimento da câmera (TOMASI e KANADE 1992).

2.7 Controle estatístico de processo (CEP)

Controle de processo estatístico (CEP) são técnicas desenvolvidas que permitem a melhoria do processo produtivo por meio da identificação de pontos amostrais fora da normalidade. Desenvolvido primariamente com foco em indústrias, nos últimos anos este processo vem se encaixando na agricultura com alto potencial de progresso (MILAN; FERNANDES, 2002). CEP se caracteriza como uma poderosa metodologia para melhora no controle de qualidade, por meio de cartas ou gráficos de controle podendo identificar desvios de parâmetros representativos do processo visando a qualidade e redução de custos (LIMA et al., 2006).

O CEP permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade num esforço de melhorar a qualidade intrínseca, a produtividade e a confiabilidade do que está sendo produzido ou fornecido (HENNING et al., 2014). O avanço dos controles estatísticos em todos os campos da administração é a maior promessa de ganhos fundamentais no controle gerencial e pode ser um fator decisivo na preservação da iniciativa privada. O controle estatístico de processo, por meio de suas ferramentas simples pode ser capaz de contribuir substancialmente para melhor administração dos ciclos produtivos (BICKING, 1991).

Trabalhos como o de Tavares et al. (2015) comprovam a utilização e eficiência de controle estatístico de processo na otimização de colheita mecanizada de lavouras cafeeiras. Os autores concluíram que a aplicação do Controle Estatístico de Processo na operação de recolhimento de grãos permitiu analisar separadamente cada fase do processo, identificando pontos a serem melhorados e aumentando a qualidade da operação mecanizada.

Cassia et al. (2013), analisaram a qualidade da colheita em plantio circular em cafeeiro e os resultados indicaram que a qualidade de colheita apresentou distribuição assimétrica com grande variabilidade nas amostras, mas mostraram-se estáveis pelo controle estatístico de processo (CEP) e somente a eficiência de decapagem foi influenciada pelos eixos de exposição solar dos cafeeiros no pivô central.

Em processos industriais, o controle estatístico de processo está presente em vários processos de produção atuando na melhoria do desempenho produtivo. Na agricultura já se realizaram trabalhos, principalmente em áreas como colheita e desempenho de máquinas, mas para a cafeicultura de precisão esse tipo de teste ainda é pouco conhecido, poucos trabalhos são encontrados na literatura a respeito de melhorias no processo por meio de cartas de qualidade. Portanto a geração de cartas de qualidade sobre técnicas de plantio oriundas de dados obtidos por meio de ARPs pode ser um trabalho pioneiro.

REFERÊNCIAS

AGÜERA-VEGA, F. et al. Reconstruction of extreme topography from ARP structure from motion photogrammetry. **Measurement**, v. 121, p. 127-138, 2018.

ANDRADE, A. D. et al. Spatial variability of soil penetration resistance in coffee growing. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 341 - 348, 2018.

APARECIDO, L. E. de O. et al. Tipos de plantio e fertilizante biológico no cafeeiro em função do índice térmico. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 307–315, 2017.

BELITZ, H.-D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. 21 Coffee , Tea , Cocoa. In: **Food chemistry**. p. 938–970, 2009.

BENEDIKTSSON, J. A.; CHANUSSOT, J.; MOON, W. M. Very High-Resolution Remote Sensing : Challenges and Opportunities. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. 6, p. 1907–1910, 2012.

BICKING, C. A. The Application of Quality Control to Administrative Problems. **Quality Engineering**, v. 3, n. 3, p. 413–424, 1991.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1404–1411, 2010.

CARRIJO, G. L. et al. Automatic detection of fruits in coffee crops from aerial images. In: LATIN AMERICAN ROBOTICS SYMPOSIUM (LARS) AND BRAZILIAN SYMPOSIUM ON ROBOTICS (SBR), 2017, Curitiba – PR, **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**, 2017, p. 1-6.

CASAS, M. I. et al. Identification of biochemical features of defective *Coffea arabica* L. beans. **Food Research Internacional**, v. 95, p. 59–67, 2017.

CASSIA, M. T. et al. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 28–34, 2013.

CHEMURA, A.; MUTANGA, O.; DUBE, T. Remote sensing leaf water stress in coffee (*Coffea arabica*) using secondary effects of water absorption and random forests. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 100, p. 317–324, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Café – Série histórica**. 2018. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safras/cafeserie-historica>>. Acesso 14 de fevereiro de 2019.

CUNHA, J. P. B. et al. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 87–96, 2016.

CUNHA, J. P.B. et al. Parameters of operational performance of soil preparation and semi-mechanized transplantation of coffee seedling. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 6, p. 910-917, 2018.

GALVÃO, A.M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Embrapa Florestas, 2000.

GOH, G. D. et al. Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UVAs) challenges an potential. **Aerospace Science and Technology**, v. 63, p. 140–151, 2017.

GONÇALVES, L. M. **Estimativa de parâmetros biofísicos de lavoura cafeeira a partir de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada**. 2018. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

GONZAGA, L. et al. Brazilian coffee genome project: an EST-based genomic resource. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 95–108, 2006.

GRAÇA, N. L. S. DE S.; MITISHITA, E. A.; GONÇALVES, J. E. Uso de Plataforma Vant como Ferramenta Autônoma para Estimativa de Expansão em Áreas de Invasão Agrária. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v. 23, n. 3, p. 509–519, 2017.

HABOUDANE, D. et al. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies : Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 337–352, 2004.

HABOUDANE, D. et al. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 416–426, 2002.

HENNING, E. et al. Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Sistemas & Gestão**, v. 9, p. 2–13, 2014.

HÖFIG P, ARAUJO-JUNIOR C.F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 195-203, 2015.

HOUBORG, R.; FISCHER, J. B.; SKIDMORE, A. K. Advances in remote sensing of vegetation function and traits. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 43, p. 1–6, 2015.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION – OIC. **Produção total dos países exportadores 2017/2018**. London 2019. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/production.pdf>>. Acesso: 14 de fevereiro de 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. 2. ed, 661 p, 2009.

JOHNSON, L. F. et al. Feasibility of monitoring coffee field ripeness with airborne multispectral imagery. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 845–849, 2004.

KLAVINS, E.; ZAGURSKY, V. Unmanned Aerial Vehicle Movement Trajectory Detection in Open Environment. **Procedia Computer Science**, v. 104, p. 400–407, 2017.

KOUADIO, L. et al. Artificial intelligence approach for the prediction of Robusta coffee yield using soil fertility properties. **Computers and electronics in agriculture**, v. 155, p. 324-338, 2018.

LÄDERACH, P. et al. Replication Data for: Climate change adaptation of coffee production in space and time. **CIAT - International Center for Tropical Agriculture Dataverse**, v. 1, p. 1-16, 2019.

LELONG, C. C. D. et al. Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. **Sensors**, v. 8, p. 3557–3585, 2008.

LIMA, A. A. . et al. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 27, n. 3, p. 177–187, 2006.

MACHADO, T. DE A. et al. Plantio semimecanizado de mudas de tomate em função da velocidade de operação. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 9, n. 1, p. 48–56, 2015.

MANCINI, F., et al. Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The structure from motion approach on coastal environments. **Remote Sensing**, v. 5, n. 12, p. 6880-6898. 2013.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 2, p. 261–266, 2002.

NAVABI, M.; MIRZAEI, H. Robust Optimal Adaptive Trajectory Tracking Control of Quadrotor Helicopter. **Latin American Journal Solids and Structures**, v. 14, p. 1040–1063, 2017.

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. **EngenhariaAgrícola**, v. 38, n. 3, p.387-394, 2018.

NOWAK, M. D.; DAVIS, A. P.; YODER, A. D. Sequence Data from New Plastid and Nuclear COSII Regions Resolves Early Diverging Lineages in *Coffea* (Rubiaceae). **Systematic Botany**, v. 37, n. 4, p. 995–1005, 2012.

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

PEREZ-MONTENEGRO, C; LOTUFO, M; CANUTO, E. Control architecture and simulation of the bore quadrotor. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 30, p. 168-173, 2013.

SILVA, A. R. et al. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivados com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 207–216, 2006.

SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 2, p. 81–96, 2015.

SILVA, R. P. et al. Qualidade das operações de preparo de solo e plantio mecanizado de mudas de café. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 51–60, 2014.

SOSA, B. M. L. et al. Diseño e implementación de un sistema de control de vuelo para un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero. **Tecnura**, v. 21, n. 53, p. 32–46, 2017.

SOUZA, C. G. et al. Algoritmos de aprendizagem de máquina e variáveis de sensoriamento remoto para o mapeamento da cafeicultura. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 751–773, 2016.

SUDHAKAR, S.; KARTHIKEYAN, N.; VENKATAKRISHNAN, L. Influence of leading edge tubercles on aerodynamic characteristics of a high aspect-ratio ARP. **Aerospace Science and Technology**, v. 69, p. 281–289, 2017.

TAVARES, T. D. O. et al. Quality of harvest mechanical of coffee fallen on the ground. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 455–463, 2015.

TOMASI, C.; KANADE, T. Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method. **International journal of computer vision**, v. 9, n. 2, p. 137-154, 1992.

TORRADO, J. O. E.; JIMÉNEZ, J. J. C.; DÍAZ, H. P. Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas ARP. **Tecnura**, v. 20, n. 50, p. 119–140, 2016.

TRABAQUINI, K. et al. Uso da Geotecnologia para caracterizar os cafezais no município de Londrina-PR, em relação à altimetria, declividade e tipo de solo. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 30, p. 1136–1147, 2010.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Coffee: World Markets and Trade**. 2018 dez. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/commodities/coffee>>.

Acesso em: 14 de junho de 2019.

USTIN, S. L.; GAMON, J. A. Remote sensing of plant functional types. **New Phytologist**, v. 186, p. 795–816, 2010.

VALE, A.; VENTURA, R.; CARVALHO, P. Application of unmanned aerial vehicles for radiological inspection. **Fusion Engineering and Design**, v. 124, p. 492–495, 2017.

WATANABE, Y.; KAWAHARA, Y. ARP photogrammetry for monitoring changes in river topography and vegetation. **Procedia Engineering**, v. 154, p. 317–325, 2016.

ZHOU, G. et al. Robust real-time ARP based power line detection and tracking. **Image Processing (ICIP), 2016 IEEE International Conference on**, p. 744–748, 2016.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**ARTIGO 1 - QUALIDADE DE TÉCNICAS DE PLANTIO DO CAFEIRO POR MEIO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO**

Elaborado de acordo com as normas do periódico

Anais da Academia Brasileira de Ciências

ARTIGO 2 – DESEMPENHO DO PLANTIO SEMIMECANIZADO DE MUDAS DE CAFEIROS EM DIFERENTES INCLINAÇÕES DO TERRENO POR MEIO DE SENSORES AÉREOS

Elaborado de acordo com as normas do periódico

Computers and Electronics in Agriculture

ARTIGO 1 - QUALIDADE DE TÉCNICAS DE PLANTIO DO CAFEIEIRO POR MEIO DE SENSORES AÉREOS E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

(VERSÃO PRELIMINAR)

LUCAS S. SANTANA¹, GABRIEL A. S. FERRAZ¹ e JOÃO PAULO B. CUNHA²

¹Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), avenida sol campus universitário s/n. Lavras – MG

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), BR 465, km 07 - Seropédica -RJ

Autor correspondente* email: lucas.santana1@estudante.ufla.br

Resumo: Averiguar a qualidade das operações de manejo de um sistema agrícola são fundamentais para otimizar o processo produtivo. Neste trabalho, objetivou-se investigar técnicas de plantio por meio de controle estatístico de processo (CEP) e imagens aéreas. O estudo foi realizado em duas áreas de 0,1 hectare, uma manejada com o plantio manual e a outra com o semimecanizado. Os dados foram coletados por meio de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). Na identificação das variações foi utilizado o CEP para gerar as cartas de controle de qualidade, os resultados obtidos foram relacionados com os mapas de densidade de kernel, identificando pontos com maior densidade de mudas e quantificados por meio de gráficos de classes. O plantio manual apresentou melhores distribuições com 4,7% de plantas a mais no campo que o projetado e com espaçamento médio de 0,48 m entre plantas, enquanto que o semimecanizado distribuiu 7% a menos que o projetado e apresentou 0,55 m. No mapa de kernel, foi evidenciado que no semimecanizado existem regiões com baixa densidade. Propostas de melhorias no sistema semimecanizado são válidas, pois erros de causas especiais não estão intrínsecas no processo, como ocorreu no sistema manual. Foi possível avaliar variações de erros nos sistemas de plantio por meio ARP, comprovada pontualmente nas cartas de controle e mapas de densidade.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, qualidade de processo, agricultura de precisão.

INTRODUÇÃO

No topo da produção mundial o Brasil é o maior exportador de café (CLEMENTE et al., 2018; ICO. 2019). A cafeicultura é considerada uma das principais atividades agrícolas do Brasil (APARECIDO et al., 2017; CONAB 2019). Diante do forte desenvolvimento da agricultura brasileira nas últimas décadas, mudanças no manejo agrícola podem ser observados. O cafeeiro que outrora absorvia grande quantidade de mão de obra, atualmente pode ter o campo de produção totalmente mecanizado. De acordo com Silva et al. (2014), o plantio de mudas de café arábica por meio de sistema semimecanizado ou mecanizado vem se tornando uma alternativa viável para os produtores, possibilitando o aumento da capacidade operacional e redução nos custos com mão de obra.

Observações na implantação da cultura podem contribuir com a melhoria do processo produtivo de forma a identificar erros e realizar mudanças em futuras operações. Segundo Vidal et al. (2016), as informações sobre o desempenho, qualidade da operação e a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando na tomada de decisões. Segundo Souza et al. (2018), na agricultura industrial já é possível prever, via simulação numérica, não apenas o comportamento mecânico das máquinas, mas também identificar tensões e deslocamentos, como a vibração dos ramos de café durante o processo de colheita.

A identificação de erros no campo e aplicação de métodos para melhorias vêm sendo implementados, como o controle estatístico de processos (CEP), que segundo Ilbeigi (2019), é uma ferramenta de qualidade utilizada nos processos produtivos com objetivo de fornecer informações para um diagnóstico mais eficaz na prevenção e detecção de defeitos/problemas nos processos avaliados. Melhorias nos sistemas de plantio podem contribuir com a redução de erros em alinhamento e distribuição de plantas.

O monitoramento a campo pode ser realizado por uma tecnologia agregada recentemente na agricultura de precisão, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), que apresentam alta capacidade de monitoramento de lavouras. Segundo Hardin e Jackson (2005), ARPs possuem estreita relação com agricultura de precisão, devido a facilidade na geração de dados e cenas com boas resoluções. De acordo com Oliveira et al. (2018), o uso de ARPstem o objetivo de obter imagens aéreas que auxiliem no processo decisório sobre sistemas de manejo de culturas, fornecendo ao produtor dados para estratégias de manejo agrícola, visando aumentar a eficiência, elevando os níveis de produtividade e tornando o agronegócio mais competitivo.

A agilidade de coleta de informações por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) podem ser empregadas na identificação dos erros de alinhamento e distribuição, sem a necessidade de coletar pontos amostrais, pois seus sensores podem imagear toda a área transplantada. Diante da baixa gama de pesquisa em torno de qualidade de plantio do cafeeiro e com o intuito de melhorias no processo de implantação da lavoura, objetivou-se com este trabalho investigar a qualidade do alinhamento e distribuição do plantio manual e semimecanizado, por meio de sensores aéreos e controle estatístico de processo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A região de estudo compreende duas áreas experimentais de 0,10 hectares cada, da Fazenda Bom Jardim (Figura 1), situada no município de Bom Sucesso, Minas Gerais, sob as coordenadas $21^{\circ}00'55.55''$ S e $44^{\circ}54'57.75''$ O. Segundo Köppen adaptado por Alvares et al. (2013) a região é caracterizada como (CWB), sendo de clima quente e temperado apresentando temperatura médias anuais em 20 a 22 °C, com maiores índices de pluviosidade no verão que no inverno, entre 1300 a 1600 mm anuais e altitude entre 800 a 1000 metros.

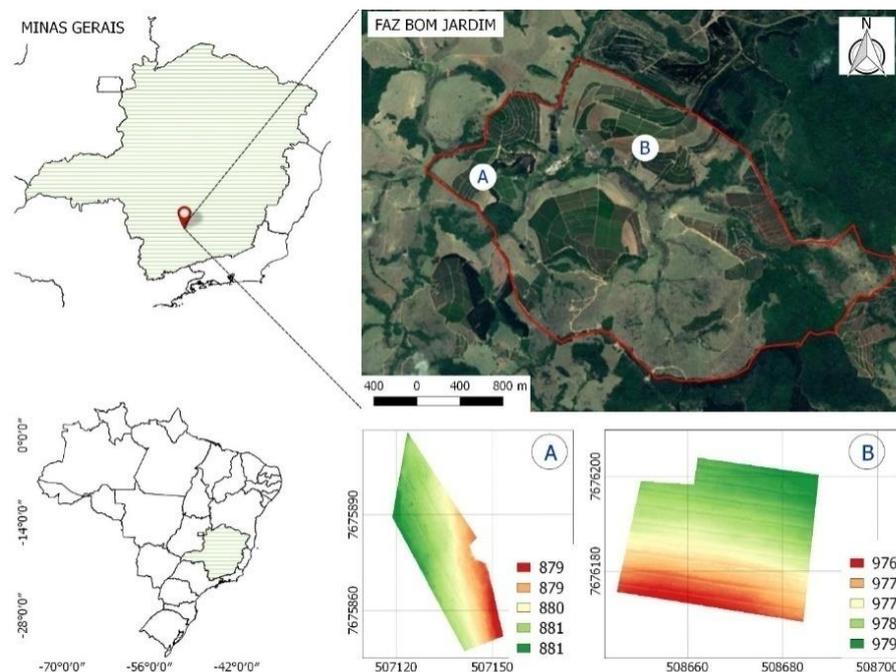


Figura 1 - Localização das áreas do experimento, Modelo digital de elevação A: plantio manual e B: plantio semimecanizado. Fazenda Bom Jardim, Município de Bom Sucesso - MG. Operações de plantio

As mudas utilizadas para ambos os sistemas foram cultivadas em saquinhos. A operação de plantio semimecanizado foi realizada com trator modelo MF 4275 “cafeeiro”, equipado com plataforma de plantio. Ocupando dois auxiliares para depositar as mudas no sistema transplantador (Figura 2A). No plantio manual Figura 2B, foi utilizado um trator modelo MF 4275 para realização dos sulcos de plantio e carreta para transporte das mudas no campo. Para auxílio no alinhamento e distribuição de mudas foi utilizado um barbante de 50 metros. Para os dois sistemas foram transplantadas mudas da variedade Catuai Vermelho IAC 99, sendo distribuídas em espaçamentos desejáveis de 3,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas.



Figura 2 -Operações de plantio, A: plantio semimecanizado e B: plantio manual em mudas de *CoffeaArabicaL.*, Fazenda Bom Jardim.

Obtenção das cenas

A imagens foram capturadas por meio de uma aeronave remotamente pilotada (ARP), modelo DJI *Phantom 4 Advance*, Sistema de Posicionamento GPS/GLONASS equipado com sensor CMOS de 1 polegada para capturar fotos de até 20 megapixels.

O planejamento de voo se iniciou com o reconhecimento da área, para determinação das configurações do plano de voo, que em seguida foi definido o ponto de pouso e decolagem, denominado “home”. Verificou-se também as condições climáticas do ambiente, como quantidades de nuvens, níveis de insolação, velocidade do vento e presença de pássaros.

Os voos foram realizados no horário de 12:00 horas por questões de baixa presença de

nuvens e pouca interferência de sol, que nesse horário está no zênite. A missão foi definida com as seguintes características de plano de voo: altura de 30 m, velocidade 3m/s e sobreposição lateral e longitudinal de 80%, obtendo uma resolução espacial de 1,68 cm em três bandas espectrais Red, Blue e Green (RGB).

Processamento de dados

O tratamento das imagens foi realizado por meio do software AgisoftPhotoScan 1.4. Para a formação de mosaico, união das bandas RGB, na qual pode ser observado na figura 3 os parâmetros utilizados para o processamento.

Fluxo de trabalho		
Alinhamento de fotos	Precisão Elevada	
Nuvem de pontos	Qualidade Elevada	Filtragem Delphi Agressiva
Modelo digital	Tipo de superfície Arbitrária (3D)	Número de faces Média (4.361.359)
Modelo digital de elevação (MDE)	Source data Nuvem de pontos densos	Projeção Geográfica
Ortomosaico	Superfície MDE	

Figura 3 –Fluxo de trabalho realizado no AgisoftPhotoscan, para formação dos ortomosaicos

Conforme apresentado na Figura 4, as plantas foram identificadas de forma manual. A partir da visualização nas imagens de alta resolução as plantas foram marcadas. Assim se obteve a quantidade de plantas nas áreas em estudo e informações inerentes a esse estudo. Por fim foi gerado um arquivo do shape file com todas as informações relevantes da área plantada, tais como: data de plantio, espaçamento desejado (entre linha e entre plantas), quantidade de plantas e porcentagem de falhas.



Figura 4 - Identificação de plantas por meio da visualização das mudas em imagem RGB.

Controle de qualidade

Para fins de geração de cartas de controle estatístico de processo, foram definidas quatro linhas em cada sistema de plantio, como observado na Figura 5. Apesar de ter informações sobre toda a população de plantas nas áreas, para geração das cartas de controle foram necessárias coletas de amostras, obtidas no centro da área pra excluir o efeito de bordadura.

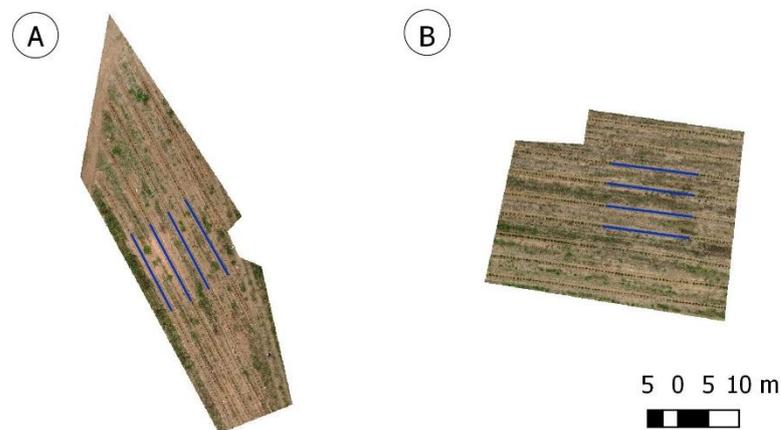


Figura 5 - Linhas de coletas amostrais para geração das cartas de Controle Estatístico de Processo (CEP), A: plantio manual e B: plantio semimecanizado.

Em seguida foram extraídas medidas de distância entre pontos, para entrada dos dados nas equações do controle estatístico de processo. Após aplicação do CEP, as cartas de qualidade foram geradas com intuito de identificar variações ocorridas no processo, para evitar valores negativos LIC, o mesmo foi considerado como valor nulo (LIC=0, para a carta de valores individuais e LIC=1, para a carta de amplitude móvel).

Para estimar as linhas médias e os limites dos gráficos de controle, foram usadas as equações 1, 2 e 3 propostas por Molnau; Montgomery; Runger (2001).

$$\bar{X} = \mu \quad eq (1)$$

$$UB = \mu + 3 \frac{\sigma}{c_2 \sqrt{n}} \quad eq (2)$$

$$LB = \mu - 3 \frac{\sigma}{c_2 \sqrt{n}} \quad eq (3)$$

Em que:

\bar{X} - Linha média; μ - Média das médias dos subgrupos; UB - Limite superior de controle; σ - Desvio-padrão; c_2 - fator de ajuste à distribuição normal, tabelado em função de n ; n - tamanho da amostra, e LB - limite inferior de controle.

Equação de Kernel, mapas de densidade

Para cruzar com os resultados obtidos por meio das cartas CEP foi aplicado uma função de kernel, gerando um mapa de densidade de todos os pontos das áreas em estudo, para fins comparativos gerou se um plantio projetado, com o mesmo tamanho das área em estudo, mas com espaçamento de 3 x 0,5 m. Segundo Xu et al. (2012) é a conversão dos padrões de dados não-lineares originais em um formato que é linearmente separável em um espaço de recurso de alta dimensão usando funções do kernel. Aplicado em mapas de suscetibilidade, a função kernel é uma função $K(x, x')$ usada para explicar o limite de decisão não linear (VAPNIK 1995).

Nesse trabalho foi utilizado uma função Quadrática de kernel, pois não foram atribuídos valores para os pontos. Segundo Shastry e Sanjay (2017) kernel quadrático é um caso especial de kernel polinomial com grau $d = 2$, usado para classificação de problemas não-lineares. Os valores de densidade foram obtidos por meio da equação 4.

$$K(X, Y) = (X^T Y + C)^2 \quad eq (4)$$

Em que, X e Y são produtos internos, C é uma constante opcional e T é um fator de transposição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela I são apresentados dados sobre as variações na quantidade de planta distribuída por cada sistema. Observa-se que o modo de plantio semimecanizado distribuiu 7% a menos que o projetado, ou seja, 44 mudas não foram transplantadas. Resultados divergentes ao do sistema semimecanizado, técnicas de plantio manual distribuíram 21 plantas a mais que o projetado. Isso pode ter ocorrido pela variação de esticamento do barbante usado como marcador. Como o barbante é de 50 metros ocorre influencia no comprimento quando a abertura de covas é marcada esticado ou solto no solo.

Tabela I

Estande de plantas dos sistemas de plantio e espaçamento em metros entre plantas de dados extraídos por fotogrametria. Δx : variação da quantidade de mudas entre projetado e transplantado.

	Semimecanizado	Manual
Mudas Projetadas (x_1)	629	441
Mudas Transplantadas (x_2)	585	462
Δx	-44	21
Erro (%)	7,00	4,70
Espaçamento entre plantas (m)		
Médio	0,55	0,48
Mínimo	0,31	0,21
Máximo	1,11	0,93

No espaçamento médio entre plantas, nota-se que alguns centímetros podem diminuir a eficiência da operação. O plantio manual se mostrou mais eficiente em relação a distribuição de plantas no campo, pois adicionou ao campo 4,7 % a mais de mudas. Na pesquisa realizada por Ronchi et al. (2015) na qual avaliaram espaçamento variando entre 0,4 e 0,8 m entre plantas, demonstram que a redução no espaçamento entre plantas provoca o aumento em matéria seca, comprimento, volume e área superficial de raízes por volume de solo, isso sem comprometer o comprimento e a superfície específica de raízes, nem aprofundar o sistema radicular.

Tendo a redução de espaçamento importância em fatores produtivos, Silveira et al. (2018) concluem que a escolha da cultivar, o espaçamento entre linha e entre plantas são os fatores em ordem decrescente que mais contribuem para potencial produtivo. Na análise da Tabela1, observa-se que o melhor desenvolvimento do sistema de plantio foi o manual, em que apresentou distribuição média de 0,48 m entre plantas, salientando que o projetado foi de 0,5

m. Nota-se que esse sistema transplantou 21 plantas a mais no campo de produção do que o desejado no projeto. Em pesquisa realizada por Andrade et al. (2014), foi observado que combinações mais produtivas para uma mesma população de plantas por hectare ocorrem quando se emprega menor espaçamento entre plantas.

Diante da premissa que redução de espaçamentos aumentam a produtividade e melhoram o desenvolvimento da planta, Matiello et al. (2010) observaram que em lavouras implantadas a menos de 30 anos, tem ocorrido maior preocupação em relação a distribuição de plantas ao longo da linha, evidenciando as tendências em menores distâncias, com variações entre 0,5 e 1 m. Em suas pesquisas verificaram um aumento de 28% de rendimento por área, e redução de rendimento por planta, refletindo em menor desgaste pós colheita. No entanto alertam que o adensamento pode gerar ambiente propício para incidência de fitopatógenos.

Segundo Martins e Laugeni (2005), o processo produtivo pode ter duas causas de variação e são classificadas de duas maneiras: Causas de variação comum e especiais. Portanto quando o processo contém somente causas de variação comuns, as variáveis seguem uma distribuição normal. Quando se trata de causas especiais, podem ser eliminadas após a identificação da anomalia e são ocasionadas por motivos claramente notáveis e alteraram os parâmetros do processo, média e desvio padrão. De acordo com Chioderoli et al. (2011), as causas especiais em operações agrícolas podem estar ligadas a diversos fatores, como regulagem incorreta do equipamento, experiência do operador, diferenças nas condições do solo, variações na velocidade de deslocamento, ataque de pragas, entre outros.

Na figura 5 são apresentados os resultados das médias amostrais do sistema manual. Pode ser observado que os valores médios ficaram dentro dos limites calculados para as cartas de controle do tipo alcance (Figura 5A). Assim, pode-se atestar a aceitabilidade do sistema de plantio manual. Portanto deve se levar em consideração as variações de amplitude em torno da média, na qual demonstram que esse sistema pode ser melhorado.

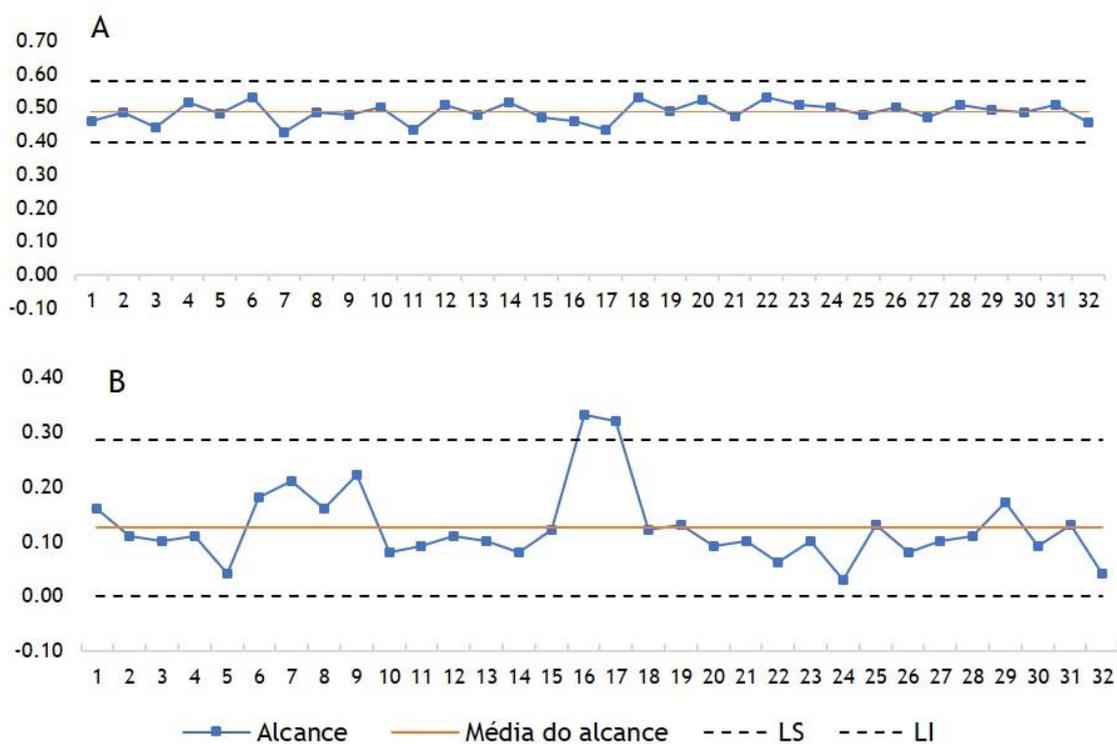


Figura 5 -Gráficos de Controle Estatístico de Processo (CEP) para o plantio de cafeeiro no sistema manual, no eixo Y, são apresentados os valores de variação em metros e X é demonstrado os pontos amostrais. A: Médias de observações e B: Alcance dos valores amostrados. LS: Limite superior e LI: Limite Inferior.

Nas cartas de processo do tipo alcance, que representam limites médios de cada observação (Figura 5B), verifica-se que variações estão acima do limite superior. Observa-se uma discrepância da média nos pontos 16 e 17, tendo isso ocorrido pelo adensamento entre plantas nesses pontos. Como a carta da Figura 5B representa as observações das amostras individuais, os valores nesses pontos foram de 0,21 m e 0,23 m, indicando que a distribuição na linha não está uniforme. Os resultados apresentados na carta da Figura 5B podem auxiliar em operações futuras, pois, com suas representações, identifica-se as condições e os pontos de maior variação, com a oportunidade de encontrar regiões semelhantes nos mapas de plantio antes realizar as próximas operações.

Na Figura 6 são apresentados os resultados para o sistema semimecanizado. Observa-se nas cartas das Figuras 6A e 6B a existência um pico de variação no ponto 7, ficando fora dos valores de limite superior. Isso ocorreu pois existem duas amostras apresentando falhas de plantio, denotando ausência de planta entre esses pontos, desta foram ocorreu um espaçamento entre mudas de 1,11 metros, levando a linha do gráfico para fora do limite superior. Com isso, pode-se realizar uma inspeção por meio de cartas para identificar pontos que não foram transplantados. Na carta apresentada na Figura 6A, apesar de existirem falhas no plantio, as

distribuições foram melhores que o sistema manual, nota-se menores variações em torno da média. Pontos identificados fora dos limites de controle são ligados a variações de causas especiais, podendo também ser pontos discrepantes, com a possibilidade de identificar os fatores que causam esta variação para eliminar a instabilidade do processo (ZERBATO et al., 2014; NORONHA et al., 2011).

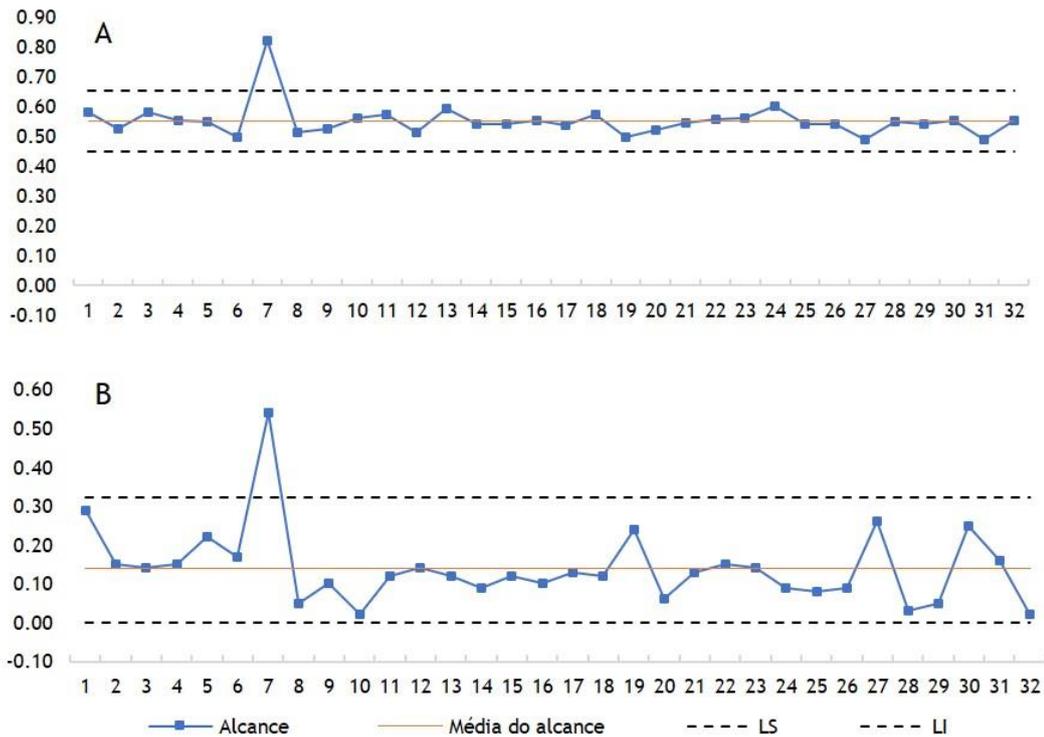


Figura 6 - Gráficos de Controle Estatístico de Processo (CEP) para o plantio de cafeeiro no sistema semimecanizado, na barra Y, são apresentados os valores de variação em metros e X é demonstrado os pontos amostrais. A: Médias de observações e B: Alcance dos valores amostrados. LS: Limite superior e LI: Limite Inferior.

Diante dos dados apresentados na carta da Figura 6B, nota-se a alta variação de valores de espaçamento de mudas, mesmo dentro dos limites superior e inferior. Nos pontos 27 e 30 ocorreram as maiores variações de espaçamento entre as observações (0,31 – 0,57 m) e (0,69-0,44 m) respectivamente. Conforme relatado na Tabela 1, essas variações podem ter ocorrido por seu baixo estande de plantas e valores médios de espaçamento de 0,55 m, e ter ocorrido pelas falhas no plantio.

A eficiência de plataforma de plantio depende de um sistema contínuo de trabalho, portanto essas falhas podem ter ocorrido pela falta de uniformidade na operação. Segundo Cunha et al. (2018), a eficiência da operação de plantio mudas de cafeeiro no sistema semimecanizado, pode apresentar grande variação devido ao fato de que esta operação é

realizada junto a uma de equipe de apoio, resultando em tempos de manobra mais longos. Portanto para melhoria do processo é necessário que a equipe de apoio seja reduzida, por meio de melhorias na plataforma de plantio.

Resultados para melhoria de processos de colheita mecanizada na cultura do amendoim foram encontrados por Zerbato et al. (2017), que explica que o monitoramento contínuo das operações a campo permite a detecção de possíveis falhas no processo de semeadura, para que em operações futuras possam ser corrigidas e mantidas dentro de padrões aceitáveis de qualidade.

Valores identificados fora dos limites por meio das cartas CEP, podem ser relacionados com fatores de entrada no processo de plantio, destorroamento de mudas, experiência da equipe de apoio, tipo solo, modo de preparo, topografia idade das mudas etc. Machado et al. (2015), avaliando velocidade plantio semimecanizado de mudas de tomates por meio de cartas CEP, concluíram que cartas de controle de qualidade foram ferramentas adequadas para avaliação do estande final durante o processo de plantio.

Na figura 7 são apresentados valores de distancias entre plantas por meio de mapa de densidade. De acordo com Weber e Wollmann (2016), o estimador de densidade kernel é uma ferramenta que auxilia o estudo do comportamento espacial de dados pontuais. Nota-se na Figura 7, que por meio da intensidade de cores e dos valores apresentados nos mapas de kernel é possível identificar erros no plantio.

Na Figura 7A, são apresentados os resultados de densidade pra um plantio teórico, ou seja, com espaçamento de 3 x 0,5 m. Neste mapa, pode-se notar que as classes 0 e 3 representam os espaçamentos entre linha e entre planta respectivamente. Para valores de densidade no sistema manual e semimecanizado (Figura 7B e 7C), observa-se que existe variações no valores e incremento de duas novas classes. Portanto quando se compara o mapa de plantio teórico, com os sistemas de plantio analisados nota-se que, para o sistema manual (Figura 7B) a classe 3 apareceu em 26% da área, alcançando pouco mais que a metade do preferível (teórico). No sistema semimecanizado a classe 3 apresentou 35%, mesmo este sistema tendo transplantado uma quantidade de mudas abaixo do esperado, com a análise dos mapas de densidade foi possível verificar a melhor uniformidade de distribuição entre plantas que foram transplantadas.

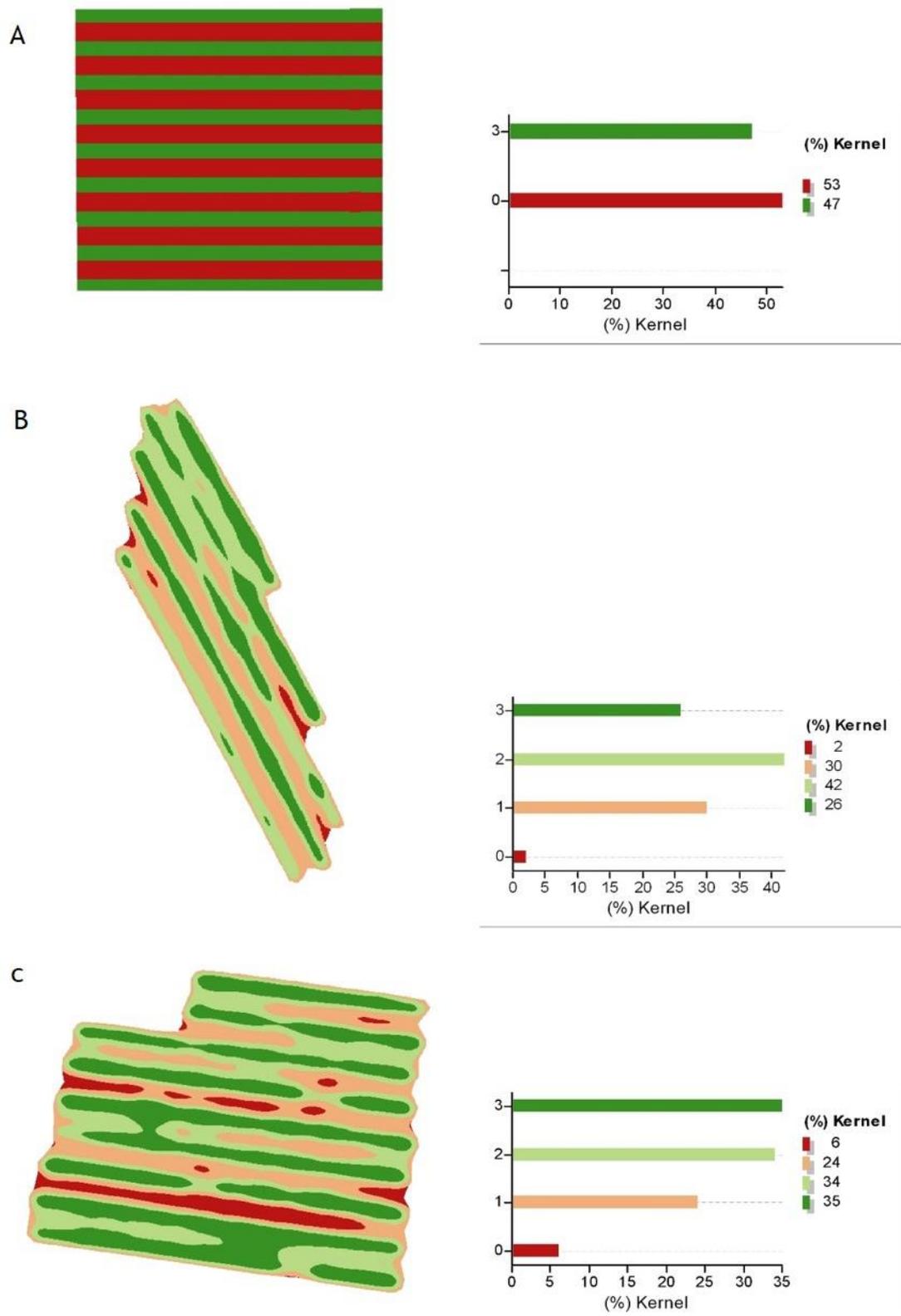


Figura 7 - Mapa de densidade, A: plantio teórico, B: plantio manual e C: plantio semimecanizado em escala 1/500 em campo de cultivo com café arábica.

Os sistemas avaliados (manual semimecanizado) apresentaram nos mapas de densidade duas classes não encontradas no mapa testemunha (Figura 7A). As classes 1 e 2, neste caso podem ser consideradas erros no plantio, pois não aparecem no mapa de plantio teórico. Os erros ocorridos em ambos os sistemas podem estar relacionados com o preparo de sulco, pois com erro no alinhamento do sulco ocorre um desalinhamento no plantio.

Os resultados apresentados demonstram que o sistema de plantio manual apresentou variações de espaçamento na distribuição e alinhamento de plantas dentro dos limites calculados, ou seja, as variações encontradas estão intrínsecas no processo, portanto não é possível fazer melhorias nesse sistema. No sistema de plantio semimecanizado, como foram identificadas variações especiais, ou seja, erros que podem ser melhorados na operação.

Diante do melhor desempenho de plantio manual é necessário levar em consideração as pesquisas de Cunha et al. (2015) em que abordaram os custos operacionais em três sistemas de plantio: mecanizado, semimecanizado e manual. Seus resultados comprovaram o alto custo operacional do sistema manual em que apresentou custos operacionais de R\$ 580,97 / ha, seguido de semimecanizado R\$ 541,72 / ha e mecanizado R\$ 471,11 / ha.

Resultados de Cunha et al. (2016) mostraram que grande parte das operações mecanizadas e semimecanizadas na cafeicultura são viáveis e a substituição da mão de obra por sistemas mecanizados vem permitindo uma maior praticidade, otimização das operações e a redução de custos. Segundo Janini (2008), quanto maior a eficiência de um sistema, aliado com sua capacidade de trabalho, menor será o custo operacional.

Com o cruzamento de resultados pode se reforçar a identificação dos erros de plantio e definir as causas, para nas próximas operações corrigi-los. Melhorias no sistema semimecanizado se fazem necessárias, visto que, variações de causas especiais foram encontradas no processo e apresentadas nas cartas CEP. No sistema semimecanizado é importante ressaltar que a baixa densidade de plantio, foi alta pela quantidade de falhas e desalinhamento.

CONCLUSÃO

Identificou-se erros no alinhamento e na distribuição de mudas nos dois sistemas de plantio em estudo. O plantio semimecanizado proporcionou menor desempenho em relação a distribuição. No entanto é necessário considerar que suas variações intrínsecas são menores quando comparado ao sistema manual. A partir de ajustes dos pontos considerados especiais o

sistema semimecanizado pode apresentar melhor desempenho. O sistema manual apresentou variações intrínsecas elevadas, mesmo ficando dentro dos limites calculados no CEP.

REFERÊNCIAS

- ALVARES C A, STAPE J L, SENTELHAS P C, DE MORAES G, LEONARDO J AND SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.
- ANDRADE, W E D B, GUIMARÃES P T G, FAQUIN V AND GUIMARÃES R J. 2014. Produtividade do cafeeiro arábica em condições de adensamento, no Noroeste Fluminense. *Coffee Science*. 9: 90-101.
- APARECIDO L E D O, SOUZA I T D, MIRANDA G R B, MORAES J R D S C D, MORAES-OLIVEIRA A F D AND PAULA F V D. 2017. Tipos de plantio e fertilizante biológico no cafeeiro em função do índice térmico. *Coffee Science* 12: 307–315.
- CHAIBLICH, J V, LIMA M L D S, OLIVEIRA R F D, MONKEN M AND PENNA M L F. 2017. Estudo espacial de riscos à leptospirose no município do Rio de Janeiro (RJ). *Saúde em Debate* 41: 225-240.
- CHIODEROLI C A, DA SILVA, R P, DE FREITAS NORONHA R H, CASSIA M T AND DOS SANTOS, E. P. 2012. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. *Bragantia* 71: 112-121.
- CLEMENTE J M, MARTINEZ H E P, PEDROSA A W, POLTRONIERI NEVES Y, CECON P R AND JIFON, J. L. 2018. Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality, and Chemical Compounds in Coffee Beans. *Journal of Food Quality* 2018.
- CUNHA J P B, SILVA F M D, ANDRADE F, MACHADO T D A AND BATISTA F A. 2015. Análise técnica e econômica de diferentes sistemas de plantio de café (*Coffea Arabica L.*). *Coffee Science* 10: 289-297.
- CUNHA J P B, SILVA F M D, MARTINS F G L, CONCEIÇÃO F G D AND CAMELO L G. 2016. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. *Coffee Science* 11: 87-96.
- CUNHA J P, SILVA F M D, ANDRADE E T AND BARROS M M D. 2018. Parameters of operational performance of soil preparation and semi-mechanized transplantation of coffee seedling. *Engenharia Agrícola* 38: 910-917.
- HARDIN P J AND JACKSON M W. 2005. An unmanned aerial vehicle for rangeland photography. *Rangeland Ecology and Management* 58: 439–442.

- ILBEIGI, M. 2019. Statistical process control for analyzing resilience of transportation networks. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 33: 155-161.
- MACHADO T DE A, SANTOS F L, VALENTE D S M, FERNANDES H C AND CUNHA J P B. 2015. Plantio semi-mecanizado de mudas de tomate em função da velocidade de operação. *Revista Agro@Mambiente on-Line* 9: 48–56.
- MARTINS P. G AND LAUGENI F R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2005.
- MATIELLO J B, SANTINATO R, GARCIA A W R, ALMEIDA S R AND FERNANDES D R. 2010. *Cultura de café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé.
- MOLNAU W E, MONTGOMERY DC AND RUNGERGC. 2001. Statistically constrained economic design of the multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Quality and Reliability Engineering International* 17: 39-49.
- NORONHA, R. H DE F, DA SILVA R P, CHIODEROLI C A, DOS SANTOS E. P AND CASSIA M T. 2011. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia* 70: 931-938.
- OLIVEIRA H C, GUIZILINI V C, NUNES I P AND SOUZA J R. 2018. Failure detection in row crops from UAV images using morphological operators. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 15: 991-995.
- RONCHI C P, JÚNIOR J M D S, AMEIDA W L D, SOUZA D S, SILVA N O, OLIVEIRA L B D AND FERREIRA P A. 2015. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa agropecuária brasileira* 50: 187-195.
- SHASTRY K A, SANJAY H A and DEEXITH G. 2017. QuadraticRadial-Basis-Function-Kernel for classifying multi-class agricultural datasets with continuous attributes. *Applied Soft Computing Journal* 28: 65-74.
- SILVA R P D, VOLTARELLI M A, CASSIA M T, VIDAL D O AND CAVICHIOLI F A. 2014. Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e plantio mecanizado de mudas de café. *Coffee Science* 9: 51-60.
- SILVEIRA JM D C, NASSER M D, MARIANO-NASSER F A D C, PAGLIARINI M K AND GIOMO G S. 2018. Population density of Arabica coffee cultivars for bean quality and yield. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 48: 358-363.
- SOUZA V H S, DIAS G L, SANTOS A A R, COSTA A L G, SANTOS F L AND MAGALHÃES R R. 2018. Evaluation of the interaction between a harvester rod and a

- coffee branch based on finite element analysis. *Computers and electronics in agriculture* 150: 2018.
- VAPNIK VN. 1995. *The Nature of statistical learning theory*. Springer, New York.
- VIDAL D O, VOLTARELLIMA, DA SILVA R P, CASSIA M T AND DE OLIVEIRA TAVARES T. 2016. Indicadores de qualidade para sistemas de preparo do solo no plantio de citros. *Comunicata Scientiae*: 7: 343-353.
- WEBER A A AND WOLLMANN C A. 2016. Mapeamento dos incêndios residências na área urbana de Santa Maria, RS, Brasil utilizando o estimador de densidade Kernel. *Investigaciones Geográficas* 51: 49-60.
- XU C, DAI F, XU X AND LEE Y H. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology* 145:70–80.
- ZERBATO C, FURLANI C E A, VOLTARELLI M A, BERTONHA R S AND DA SILVA R P. 2014. Quality control to seeding systems and densities in peanut crop. *Australian Journal of Crop Science* 8: 992.
- ZERBATO C, FURLANI C E, SILVA R P D, VOLTARELLI M A AND SANTOS A F D. 2017. Statistical control of processes applied for peanut mechanical digging in soil textural classes. *Engenharia Agrícola* 37: 315-322.

ARTIGO2 - DESEMPENHO DO PLANTIO SEMIMECANIZADO DO CAFEIEIRO EM DIFERENTES INCLINAÇÕES DO TERRENO

(VERSÃO PRELIMINAR)

Lucas Santos Santana*¹, Gabriel Araújo e Silva Ferraz¹ e João Paulo Barreto Cunha²

¹Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), aquenta sol campus universitário s/n. Lavras – MG

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), BR 465, km 07 - Seropédica -RJ

Autor correspondente* email: lucas.santana1@estudante.ufla.br

RESUMO

A mecanização do cafeeiro nos últimos anos vem passando por algumas mudanças. Áreas que antes não eram cultivadas agora passam a produzir graças a inserção de tecnologias no campo. Operações de plantio do cafeeiro em altas declividades ainda são consideradas inaptas a mecanização, portanto com esse trabalho objetivou-se avaliar a qualidade do plantio semimecanizado de mudas de cafeeiros em diferentes declividades do terreno. O estudo foi realizado em uma propriedade no município de Bom Sucesso – MG. Para tais análises foram coletadas imagens áreas por meio de uma aeronave remotamente pilotada (ARP) que foram posteriormente transformadas em modelo digital de elevação (MDT) e mapa de declividade. Por meio de análise de variância e controle estatístico de processo, foi analisada a influência da declividade entre 0-40% nos espaçamentos entre linhas de plantio e entre plantas na linha. Diante das avaliações, foi observado que em todas as declividades avaliadas ocorreu aumento das médias de espaçamento entre plantas na linha de plantio. Nas avaliações sobre os espaçamentos entre linhas de plantio foram constatados nas cartas de controle pontos a serem ajustados de forma a eliminar erros no plantio. A ocorrência de erros nos espaçamentos entre plantas na linha pode estar relacionada com o conjunto transplantador. Para variações de distâncias entre linhas de plantio maiores declividades acentuaram os erros.

Palavras Chave: Sensoriamento remoto, qualidade de plantio, ARP.

1. Introdução

A cafeicultura representa uma das atividades agrícolas mais importantes do Brasil (BAITELLE; FREITAS; VIEIRA, 2018). Dada sua importância na economia, mudanças significativas vêm ocorrendo de forma a tornar seu manejo cada vez mais eficiente. Atualmente a mecanização agrícola pode fazer parte de todo o processo produtivo.

O cultivo de café sofreu mudanças significativas, especialmente no que diz respeito a mecanização, notoriamente em operações, executadas +de forma manual (DASILVA et al. 2018). Por se tratar de uma cultura perene, a fase de implantação é uma das etapas mais importantes do cafezal (APARECIDO et al. 2017). Portanto, o desempenho do sistema de implantação pode interferir no desenvolvimento inicial da cultura e em suas produções futuras. Com isso, técnicas adequadas de plantio podem contribuir com a formação de uma lavoura eficiente (MARCHI et al. 2015).

Um dos fatores que pode influenciar na qualidade do plantio é a existência de regiões que apresentam fortes declividades. Para o cafeeiro, Höfig e Araujo-Junior (2015) classificam declividade do solo com potencialidade de mecanização em: extremamente apta (0 a 5%), muito apta (5,1 a 10%), apta (10,1 a 15%) moderadamente apta (15,1 a 20%) e não recomendado (> 20%). Altas variações de declividade no terreno correspondem a uma das principais características de variações no desempenho operacional e até a limitação do uso de máquinas (GUIMENES et al. 2017).

Tecnologias de agricultura de precisão podem contribuir com investigações do desempenho na implantação do cafeeiro. Zhang e Kovacs (2012) definem a agricultura de precisão como a aplicação de sensores e técnicas geoespaciais para identificar variações no campo e tratá-los com eficácia. Sensores a bordo de aeronaves remotamente pilotadas já fazem parte de algumas investigações na cultura do café, as quais são relatadas em pesquisas de Carrijo et al. (2017), que apresentaram um método de identificação de frutos em lavouras de café por meio de sensores aéreos. Chemura, Mutanga e Dube (2017) avaliaram a capacidade de identificar teores de água em vegetações cafeeiras, utilizando sensores multiespectrais em ARPs para aplicação em irrigação de precisão. Taruna, Putra e Soni (2018) apresentaram o potencial de câmeras RGB sob mensuração direta de estimativa e clorofila a e b, carotenóides e níveis críticos de nitrogênio de cafeeiro.

A obtenção de modelo digital de superfície é cada vez mais evidente em trabalhos utilizando ARPs. A geração de Modelo Digital de Elevação (MDE) por métodos clássicos vem enfrentando algumas barreiras (tempo, resolução, precisão, extensão), abrindo espaço para

aplicação de novas tecnologias como ARPs. A partir dos mapas de MDE pode-se obter diversos produtos, dentre os quais, criar os mapas de declividade (UYSAL, TOPRAK E POLAT, 2015; AKTURK E ALTUNEL, 2019).

Além do uso de sensores aéreos para monitoramento de anomalias na agricultura, cartas de controle estatístico de processo podem contribuir com a identificação de erros em operações agrícolas (PELOIA, MILAN E ROMANELLI 2010; SILVA E FURLANI 2013). Controle estatístico de processo é a técnica de coletar amostras em um processo contínuo, para verificar se a média, o intervalo ou o desvio padrão estão no dentro limite de confiança, representado por uma carta de controle subdividida em gráficos (GODINA, MATIAS E AZEVEDO 2016). Análise de desempenho em uma máquina mostra que, a normalidade na operação é vista como uma curva de sino ou distribuição normal. Portanto, pontos fora da curva podem ser considerados erros (MONTGOMERY 2007).

Diante do exposto, investigações acerca de qualidade plantio podem ser úteis para contribuições de melhorias no processo, visto que operações de plantio ocorrem de forma contínua e variações na declividade podem ser limitantes no cultivo do cafeeiro. A partir desse tipo análise em futuras operações, ajustes podem ser realizados até mesmo com o intuito de melhorar o alinhamento e distribuição de mudas de cafeeiros. Mudanças como, tamanho de trator, implemento, velocidade de plantio e definição de ambientes com necessidade de plantio manual, podem garantir uma melhor qualidade na operação de plantio e trazendo melhorias para o manejo mecanizado das próximas etapas da cultura.

A proposta de um monitoramento de erros no plantio do cafeeiro pode ser apresentada por meio de análise e uso de mapas de declividade e de cartas de controle. Desta maneira, o objetivo desta pesquisa foi identificar erros de alinhamento e distribuição de mudas em áreas de plantio semimecanizado de cafeeiros em diferentes declividades, contando com análises a partir de técnicas de sensoriamento remoto e controle estatístico de processo.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A região de estudo compreende uma área de 0,85 hectares, com variações de altitude entre 900 e 913,6 m. A Fazenda Bom Jardim está situada no município de Bom Sucesso, Minas Gerais, Brasil, sob as coordenadas 21°00'55.55" S e 44°54'57.75" O (Fig.1). Segundo Köppen, adaptado por Alvares et al. (2013), a região é caracterizada como (CWB), sendo de clima quente

e temperado apresentando temperaturas médias anuais entre 20 e 22 C°, com maiores índices de pluviosidade no verão que no inverno, entre 1300 a 1600 mm anuais e altitude entre 800 e 1000 metros.

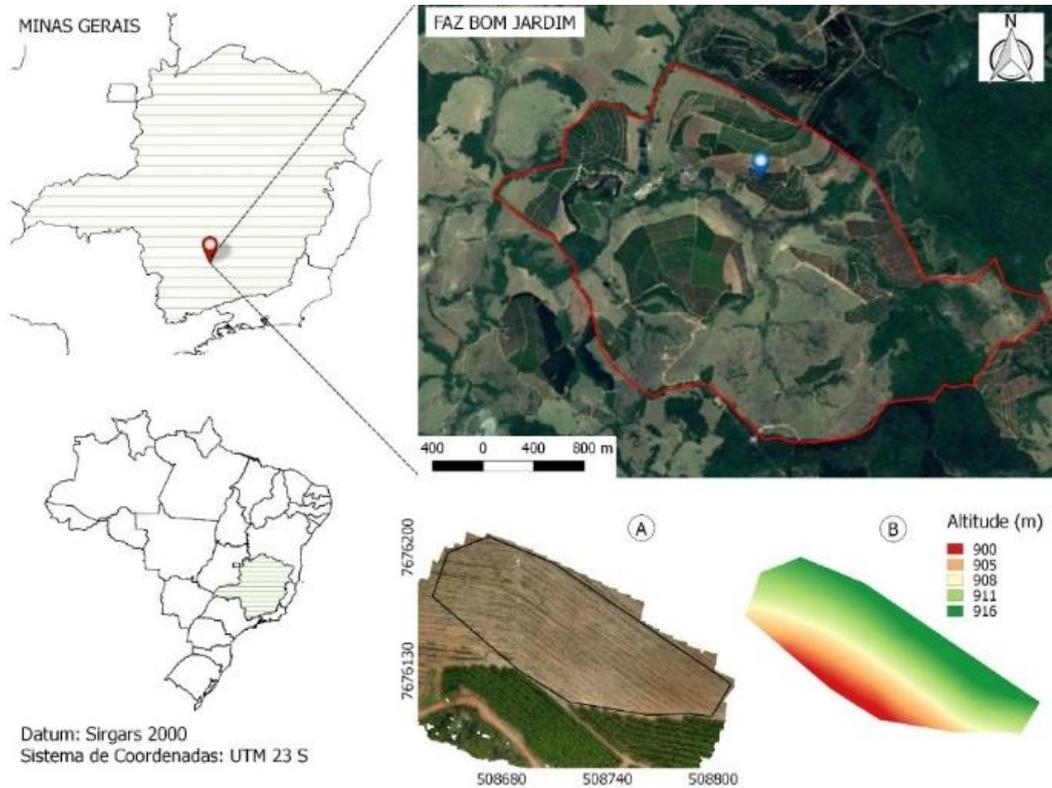


Fig.1. Localização da área de estudo. A: cena na composição Red, Blue e Green (RGB) e B: mapa de altitude. Fazenda Bom Jardim – Bom Sucesso MG.

2.2. *Plantio*

Para realização do experimento, o plantio foi realizado com uma plataforma acoplada a um trator modelo MF 4275 “cafeeiro”, ocupando dois auxiliares para depósito de mudas no sistema transplantador e um para o abastecimento de caixas na plataforma (Fig.2).



Fig.2. Operações de plantio, sistema semimecanizado com uso de plataforma.

No estudo foram utilizadas mudas de cafeeiros *Coffea Arábica* L. Cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Foram transplantadas em espaçamentos desejáveis de 3,5 metros entre linhas e 0,5 metros entre plantas, com velocidade de deslocamento da máquina em 1,75 km/h.

2.3. Aquisição e processamento das imagens

Os procedimentos metodológicos necessários para a coleta e processamento de dados são apresentados na forma de fluxograma, na Fig.3.

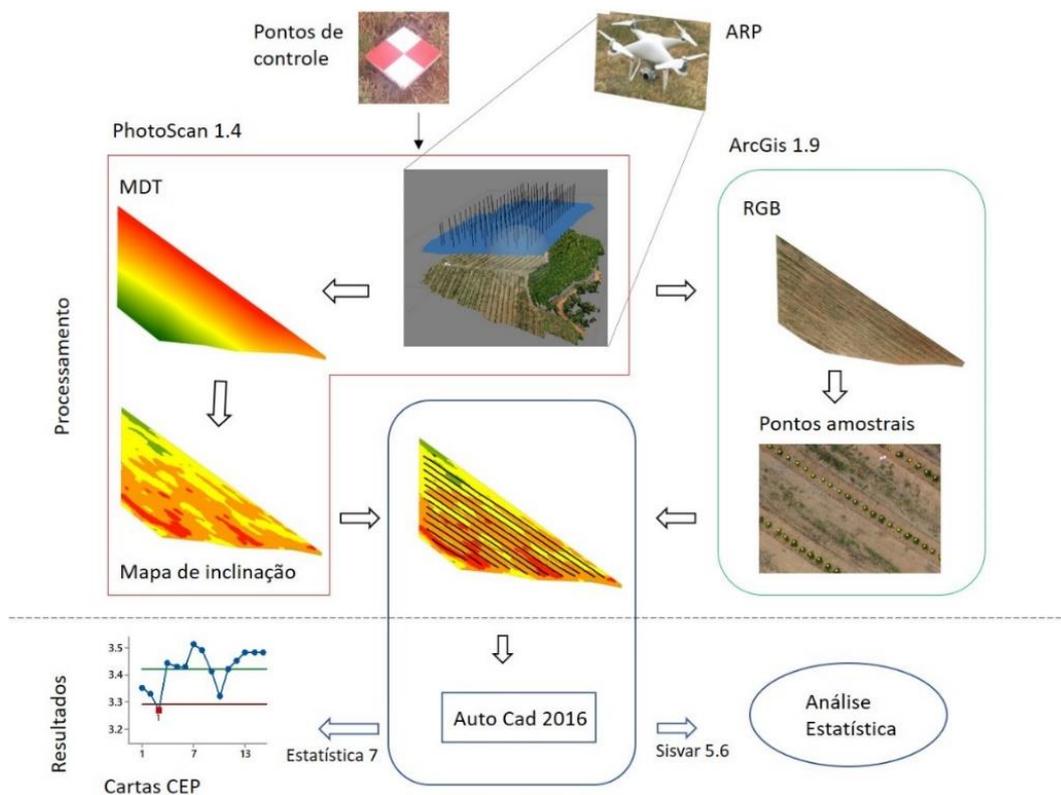


Fig.3. Fluxograma de procedimentos metodológicos

O planejamento de voo iniciou-se com o reconhecimento da área, para averiguar dados a serem inseridos na missão da ARP. Em seguida foi definido o ponto de pouso e decolagem denominado “home”. Verificou-se também condições ambiente, como quantidades de nuvens, níveis de insolação, velocidade do vento e presença de pássaros. Os voos foram realizados no horário de 12:00 horas por questões de baixa presença de nuvens e interferência de sombra. Antes do início do voo foram distribuídos os pontos de controle. Nestes locais, os quais foram devidamente georreferenciados, foram alocados marcadores com dimensões de 0,3 x 0,3 m (Fig. 4A), seguindo as características conforme os trabalhos de D’oleire-oltmanns et al. (2012) e Liba e Berg-jürgens (2015).

As cenas foram capturadas por meio de uma aeronave remotamente pilotada (ARP), modelo Phantom 4 advance (Fig.4B). As imagens são coletadas por meio de um sensor Red, Blue e Green (RGB) com abertura focal 1” para capturar fotos de até 20 megapixels.

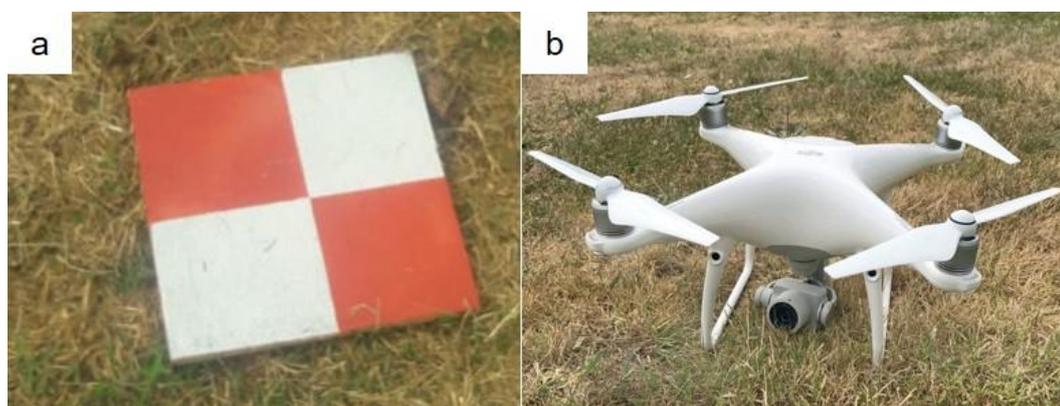


Fig.4. Equipamentos utilizados na coleta de imagens. A: Placas de controle e B: Aeronave Remotamente Pilotada (ARP).

A missão foi definida com as seguintes características: altura de 30 m com relação ao solo, velocidade 3m/s e sobreposição lateral e longitudinal de 80%. Em seguida, foi iniciada a missão de voo pré-estabelecida, começando no “home” e retornando no mesmo ponto de forma automática após ter coletado 123 imagens durante os 7 minutos de vôo, resultando em uma resolução espacial de 1,68 cm em três bandas espectrais Red, Blue e Green (RGB).

As imagens foram processadas por meio do software AgisoftPhotoScan 1.4. Seguindo os parâmetros observados na (Figura 5).

Fluxo de trabalho		
Alinhamento de fotos	Precisão Elevada	
Nuvem de pontos	Qualidade Elevada	Filtragem Delphi Agressiva
Modelo digital	Tipo de superfície Arbitrária (3D)	Número de faces Média (4.361.359)
Modelo digital de elevação (MDE)	Source data Nuvem de pontos densos	Projeção Geográfica
Ortomosaico	Superfície MDE	

Fig. 5. Parâmetros utilizados no AgsoftPhotoscan, para formação do ortomosaico

2.4. Georreferenciamento das imagens

Para definições de relevo e alocação de pontos de controle para cenas aéreas foram coletadas coordenadas georreferenciadas com um par de receptores GNSS no modo RTK (Fig.6).



Fig. 6. Equipamentos utilizados do georreferenciamento dos pontos de controle.

Os rastreios foram realizados em forma de malha, para fins de precisão das condições topográficas e georreferenciamento das imagens. Rastreou-se 18 pontos por hectare, de acordo com as pesquisas (Rangel et al 2018), as quais definiram a quantidade de GCPs por hectare. Nas pesquisas foram observados que a partir de (18 GCPs) a melhoria de indicadores estatísticos sobre a qualidade das ortofotos é praticamente insensível à introdução de novos pontos.

O passo inicial para o processamento dos dados foi transformar os arquivos brutos “raiz” em RINEX. Na sequência os arquivos foram enviados e processados via base do IBGE, por meio do posicionamento por ponto preciso (PPP). Na segunda fase realizou-se o ajuste das

novas coordenadas processadas pelo IBGE. Posteriormente foram ajustadas o ponto base com os pontos do rover e em seguida exportado para extensões GIS ou CAD em que foi utilizado para modelo digital de elevação e pontos de controle para fotogrametria.

2.5. Geração de mapas de declividade

Os mapas de declividade foram gerados a partir do mapa do Modelo digital de superfície (MDS), em que a vegetação foi eliminada a partir da classificação de pontos de solo formando um MDT. Posteriormente foi processado e transformado em mapa de declividade, no qual foi dividido em cinco classes: 0-15%, 15-20%, 20-25%, 25-30% e 30-40%. A partir do mapa de declividade, foram coletadas as amostras (Fig.7). Para os espaçamentos entre plantas na linha de plantio foram realizadas coletas de 120 amostras para cada declividade. Para as análises dos espaçamentos entre linhas de plantio, foram coletadas 30 amostras para cada declividade.

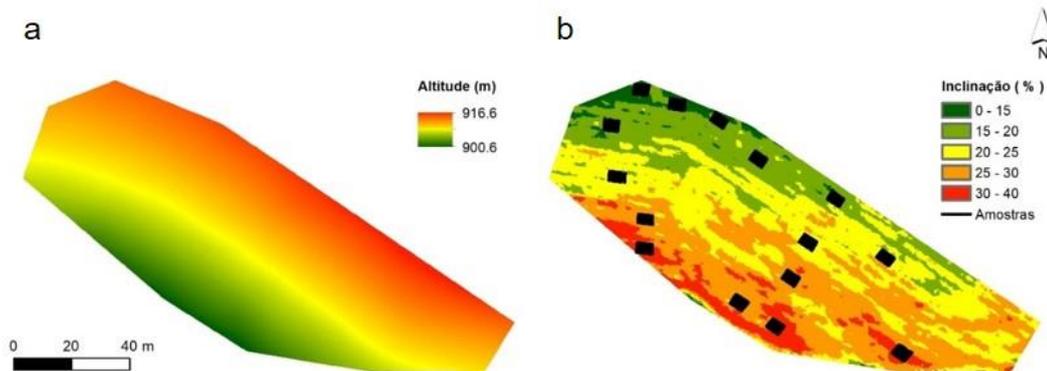


Fig.7. A: Modelo Digital de Terreno (MDT), B: Mapa de coleta e regiões de coleta de dados para cartas CEP.

Após o processamento dos dados em software GIS, os dados foram exportados para uma plataforma CAD para coleta das distâncias entre plantas e entre linhas. A primeira coleta de informações foi realizada pra geração das cartas de controle estatístico, em que foram separadas áreas amostrais nas declividades 0-15%, 0-20%, 20-25%, 25-30% e 30-40% (Fig.7B).

O Sistema Brasileiro de Classificação de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) considera relevo plano com declividades entre 0% a 3%. Quando apresentam inclinações suaves e variações entre 8 e 20%, são declives moderados. Variações entre 20 e 45%, são tidas como forte ondulado. Fortes inclinações, predominantemente entre 45 e 75%, são consideradas montanhosas. Diante dos resultados obtidos a partir do mapa de modelo digital de terreno (MDT), nota-se que esta pesquisa está baseada entre relevos suaves e fortes ondulações.

2.6. Análises estatísticas

O experimento foi realizado sob um delineamento inteiramente casualizado. Para os variáveis espaçamentos entre plantas na linha do plantio, foram coletadas 120 amostras em cada declividade. Nas análises de espaçamentos entre linhas de plantio foram realizadas coletas em três pontos sorteados em cada declividade, na qual foram coletadas 10 amostras cada ponto. Em seguida, foi utilizado o software SISVAR 5.6 nos procedimentos estatísticos, em que inicialmente procedeu-se a análise de variância (ANAVA) do tipo fator único tendo como variáveis resposta, espaçamento entre planta na linha e espaçamento entre linha, e declividade como variável independente. A partir do quadro de Anava, foi empregado o teste F e em seguida foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As cartas de controle foram utilizadas no estudo de todas as amostras obtidas. Foram medidas individuais para cada tratamento, sendo o tamanho da amostra o número de repetições e medindo-se a variabilidade pela amplitude móvel. Quando os valores das repetições se encontravam dentro dos limites calculados utilizando a amplitude móvel, a variabilidade foi considerada aceitável. Com aplicação do CEP, as cartas de qualidade foram geradas com intuito de identificar variações ocorridas no processo. Para evitar valores negativos no Limite inferior de controle (LIC), o mesmo foi considerado como valor nulo (LIC=0, para a carta de valores individuais e LIC=1, para a carta de amplitude móvel).

Para estimar as linhas médias e os limites dos gráficos de controle, foram usadas as equações 1,2 e 3, propostas por Molnau, Montgomery e Runger (2001).

$$\bar{X} = \mu \quad eq (1)$$

$$UB = \mu + 3 \frac{\sigma}{c_2 \sqrt{n}} \quad eq (2)$$

$$LB = \mu - 3 \frac{\sigma}{c_2 \sqrt{n}} \quad eq (3)$$

As análises CEP foram realizadas no software Estatística 7. Para tanto, foram inseridos os dados extraídos dos vetores em CAD e tabulados em planilhas eletrônicas. As cartas apresentadas como resultados para as análises foram do tipo X BAR S. Apresentadas de duas formas: uma considerando as médias das amostras coletadas e outra em relação ao desvio padrão das amostras, que também é conhecido como gráfico de alcance. As cartas de controle

foram utilizadas para identificar erros no alinhamento do plantio e espaçamento entre plantas na linha, as quais podem ser relacionadas com a influência da declividade.

3. Resultados

Na tabela são apresentados dados referentes as quantidades de plantas distribuídas em cada sistema.

Tabela 1

Mudas distribuídas x projetadas de café por meio da plataforma transplantadora em diferentes declividades.

Tipo de operação	Declividade (%)				
	0-15	15-20	20-25	25-30	30-40
Projetado x_1	151	870	1166	1031	239
Transplantado x_2	143	812	1074	975	236
Espaçamento médio	0,53	0,54	0,54	0,53	0,51
Δx	8	58	92	56	3
Δx (%)	5,44	6,64	7,89	5,39	1,22

Pode ser observado que a distribuição de mudas no sistema de semimecanizado foi menos eficiente quando as operações ocorreram em declividades entre 20 e 25%. Nesta faixa de declividade foi distribuído 7,89 % a menos em relação a quantidade de planta projetada. O melhor resultado encontrado para distribuição de mudas foi a declividade entre 30-40%, pois o valor transplantado foi de 98,78% da quantidade de plantas desejadas. Isso pode estar relacionado com a baixa velocidade empregada no plantio. Segundo Oliveira et al. (2016) em encostas de maiores declividades as operações exigem que o operador realize mudanças contínuas de marchas para reduzir os riscos de acidente, reduzindo assim a velocidade de operação.

A quantidade de mudas transplantadas pode inferir nos custos de implantação da lavoura, pois os investimentos do produtor estão calculados para o cultivo planejado. Como visto, o sistema de plantio pode distribuir menos mudas que o esperado. Estudos realizados por Alves, Pereira e Dalchiavon (2017), relacionaram análises de custo em sistemas de manejo no café arábica e revelaram que o custo de produção no sistema semimecanizado é de R\$ 10.110,55 por hectare. Ao considerar os resultados apresentados na Tabela 1, para as inclinações estudadas ressalta-se a interferência nos custos por saca de café, pois os investimentos em implantação são os mesmo que se estivesse com a população projetada.

É preciso dizer que apenas observar os dados da Tabela 1 não é suficiente para garantir que a operação ocorreu com qualidade, ou seja, que as mudas foram transplantadas no seu devido local. Mesmo que as quantidades possam estar corretas, o cafeeiro necessita que as mudas sejam depositadas no espaçamento correto, tanto entre linhas quanto entre plantas, de modo a garantir um bom desenvolvimento da cultura e também uma otimização das operações de manejo da cultura.

Na tabela 2 são apresentados os dados referentes as análises estatísticas realizadas nas diferentes declividades, quando avaliados valores de espaçamentos entre linhas de plantio.

Tabela 2

Quadro de análise de variância (Anava) e teste média (Tukey) para as análises de espaçamentos entre plantas na linha de plantio.

Anava					
Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F Value	Prob>F
Tratamento	4	0,039	0,010	2,252	0,062
Erro	595	2,548	0,004		
Total	599	2,587			
Tukey					
D.0-15	0,558	a			
D.15-20	0,540	a	b		
D.20-25	0,542	a	b		
D.25-30	0,545	a	b		
D.30-40	0,534		b		

* Médias de mesma letra não se diferenciam a 5% de probabilidade de erro.

A partir das análises observadas na Tabela 2 é importante ressaltar que todas as declividades estudadas apresentaram valores médios acima do projetado para as variações de distâncias entre plantas na linha. Em lavouras cafeeiras é evidente o efeito do desenvolvimento das plantas quando submetido a espaçamentos diferentes. A cada metro acrescido no espaçamento, obtêm-se plantas 53 cm menores (PEREIRA et al., 2011). Portanto, vale ressaltar a importância dos ajustes no sistema transplantador.

Na figura 8 são apresentados os resultados das análises de teste tukey, expressando em vermelhos os tratamentos com erros significativos a 5% de probabilidade de erro.

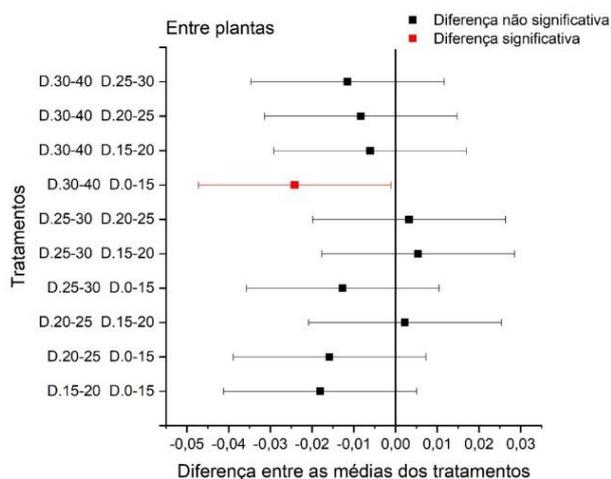


Fig.8. Gráficos de análise do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para as variáveis (espaçamento entre plantas na linha).

De acordo com os dados apresentados na Fig.8, as declividades 0-15% e 30-40% são diferentes entre si conforme o teste de Tukey a 5%. Para essas declividades, as diferenças das médias do espaçamento entre plantas na linha de plantio são de 2,4 cm. Foram encontradas diferenças significativas para os espaçamentos entre linhas de plantio entre as declividades analisadas por meio de testes de Tukey (Tabela 3).

Tabela 3

Quadro de análise de variância (Anava) e teste média (Tukey) para as análises de espaçamentos entre linhas de plantio.

Anava					
Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F Value	Prob>F
Model	4	1,958	0,490	10,438	0,000
Error	145	6,801	0,047		
Total	149	8,759			

Teste de Tukey		
Declividade (%)	Médias (m)	
D.20-25	3,321	a
D.0-15	3,340	a b
D.25-30	3,391	a b
D.15-20	3,498	b c
D.30-40	3,651	c

* Médias de mesma letra não se diferenciam a 5% de probabilidade de erro

Assim, pode se dizer que quando se realiza o plantio semimecanizado nas declividades de 0-15%, 15-20% e 25-30%, os espaçamentos entre as linhas de plantio não se diferem a 5% de probabilidade de erro. Pode ser observado, no teste de média (Tabela 3), que a declividade

entre 20-25% apresentou 3,32 m de espaçamento entre linhas de plantio, e se diferenciou das declividades 15-20% e 30-40%. Portanto, estes resultados provam que existem influências da declividade nas distâncias entre linhas de plantio do plantio. O plantio na declividade 15-20% foi a que mais se aproximou do plantio projetado (3,5 m). As declividades 20-25% e 30-40% apresentaram médias de 3,32 e 3,65 m respectivamente.

Espaçamentos errôneos podem interferir na quantidade de plantas na área de plantio e o acúmulo de desses erros entre linhas pode suprimir ou adicionar uma linha. Considerando que o espaçamento médio entre linhas deve ser de 3,5 m, em 1 hectare de área são transplantados 28 linhas. No caso do plantio em declividade de 20-25% seriam adicionadas duas linhas de plantio e, quando considerado o plantio na declividade 30-40%, a operação deixa de transplantar uma linha, pois ao longo do processo o acúmulo de erros suprimir uma linha.

Na figura 9 são apresentados testes de média aplicados as variáveis (espaçamento entre linhas). Pode ser observado que a declividade 30-40% apresentou diferenças significativas quando comparado as declividades 0-15%,20-25% e 25-30%. Observa-se também que a declividade 30-40% quando comparada a declividade 15-20% é considerada significativa, portanto está no limite entre as diferenças.

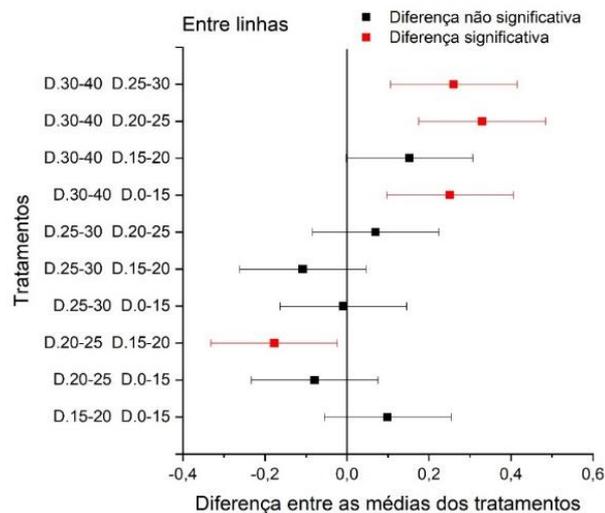


Fig.9. Gráficos de análise do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para as variáveis (espaçamento entre linhas).

A partir da carta de controle apresentada na Fig.10a, é possível observar as variações de espaçamento entre plantas na linha de plantio, assim percebe-se que os espaçamentos médios entre plantas estão dentro do limite calculado, exceto um ponto encontrado na declividade 25-30% que está fora do limite superior de controle.

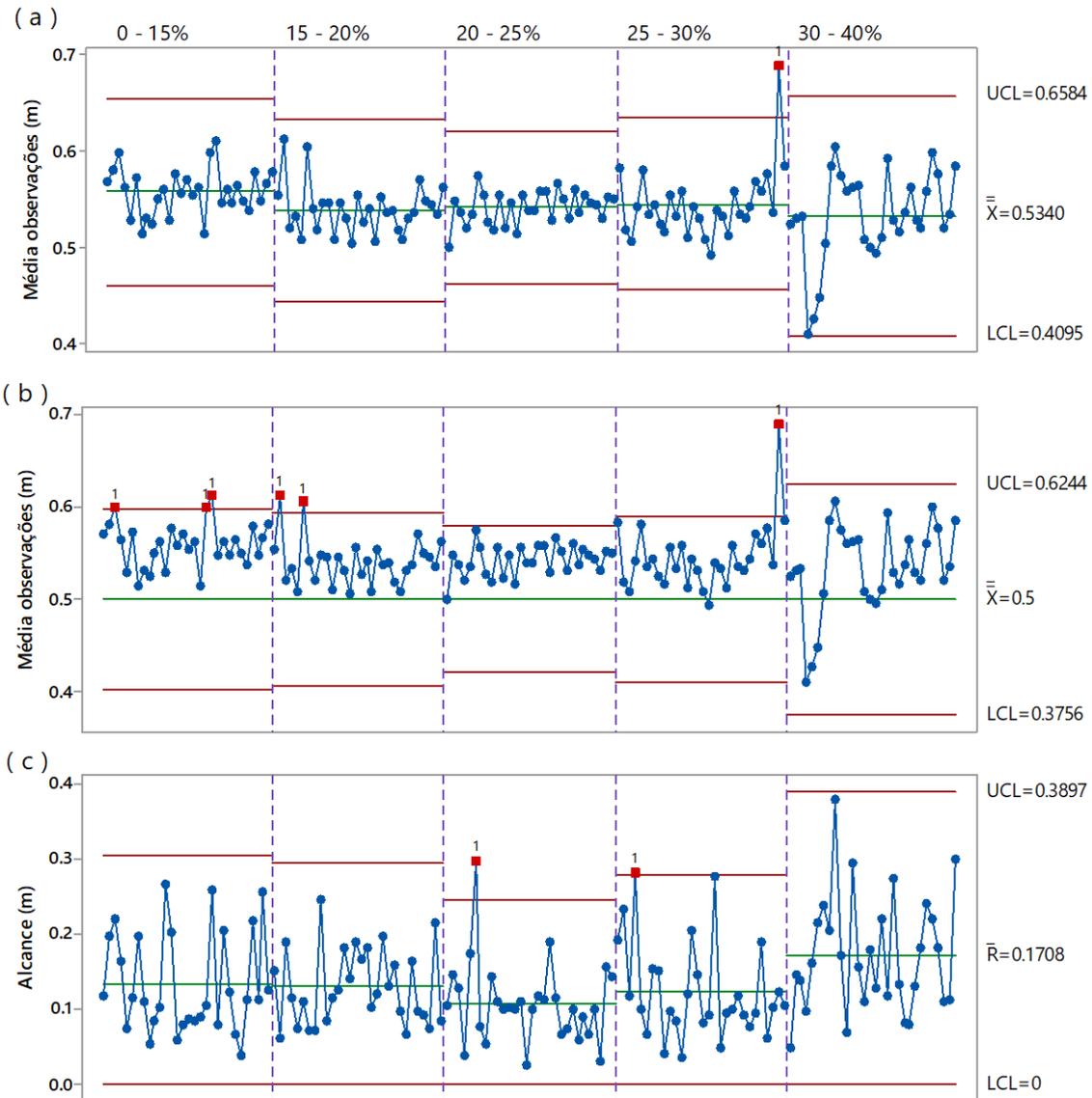


Fig.10. Cartas de controle de variações nos espaçamentos entre plantas na linha de plantio. A: Médias sob valores médios transplantados, B: Média sob a linha média desejada e C: Alcance dos valores amostrados. UCL: Limite superior e LCL: Limite Inferior.

Variações no processo podem ser explicadas por Martins e Laugeni (2005) que classificam as variações de pontos amostrais em duas causas: comuns e especiais. Os autores salientam que causas comuns estão intrínsecas no processo e causas especiais podem ser corrigidas por meio de ajustes. Segundo Hadian e Rahimifard (2019), ocorrências de processo “fora de controle” ocorrem quando os pontos no gráfico de controle se movem fora do limite superior ou inferior, e o processo é deslocado da média projetada durante alguns períodos de tempo. Diante destas informações, o ponto encontrado fora do limite superior na declividade 25-30% é considerado de causas especiais e pode estar relacionada com falhas na distribuição entre plantas na linha e corrigido a partir de ajustes na plataforma de plantio.

Para as análises apresentadas na Fig.10b, as variações de espaçamento entre plantas na linha de plantio podem ser consideradas de causas comuns nas declividades 20-25% e 30-40% e de causas especiais nas declividades de 0-15%, 15-20% e 25-30%. Pode ser observado na Fig.10b que para todas as declividades os pontos ficaram acima da média projetada (0,5 m), e mesmo com causas comuns o plantio em declividade 30-40% apresenta alta variação entre os pontos amostrados. Isso pode ter ocorrido pela movimentação lateral da plataforma, ocorrendo distanciamento diagonal.

Pesquisas realizadas por Silva et al. (2014), em estudos de qualidade nas operações mecanizadas de preparo e plantio de mudas de cafeeiro, concluíram que mesmo com 5% de declividade pode ocorrer erros no espaçamento de mudas na linha. Observando variações de causas especiais no processo, com características de possíveis mudanças bruscas na direção por parte do operador durante a operação.

Diante da carta de controle de processo apresentada na Fig.10c, em que apresenta os erros de desvio padrão das amostras, pode ser observado que os pontos encontrados fora do limite superior na Fig.10B, podem não estar relacionados com os espaçamentos entre plantas na linha de plantio acima da média, mas, com mudas não depositadas no sulco de plantio, o que pode gerar espaçamentos entre plantas na linha de plantio em torno de 1 metro.

Na Fig.11, são apresentadas as variações de distâncias nos espaçamentos entre linhas ocorridas no plantio. Conforme observado na carta de controle apresentada na Fig.11a, na qual demonstra as médias encontradas após o plantio, todas as declividades avaliadas apresentaram erros de causas especiais. Pode ser observado que acima de 25% de declividade as variações aumentam e os pontos amostrais ficam fora dos limites superiores e inferiores.

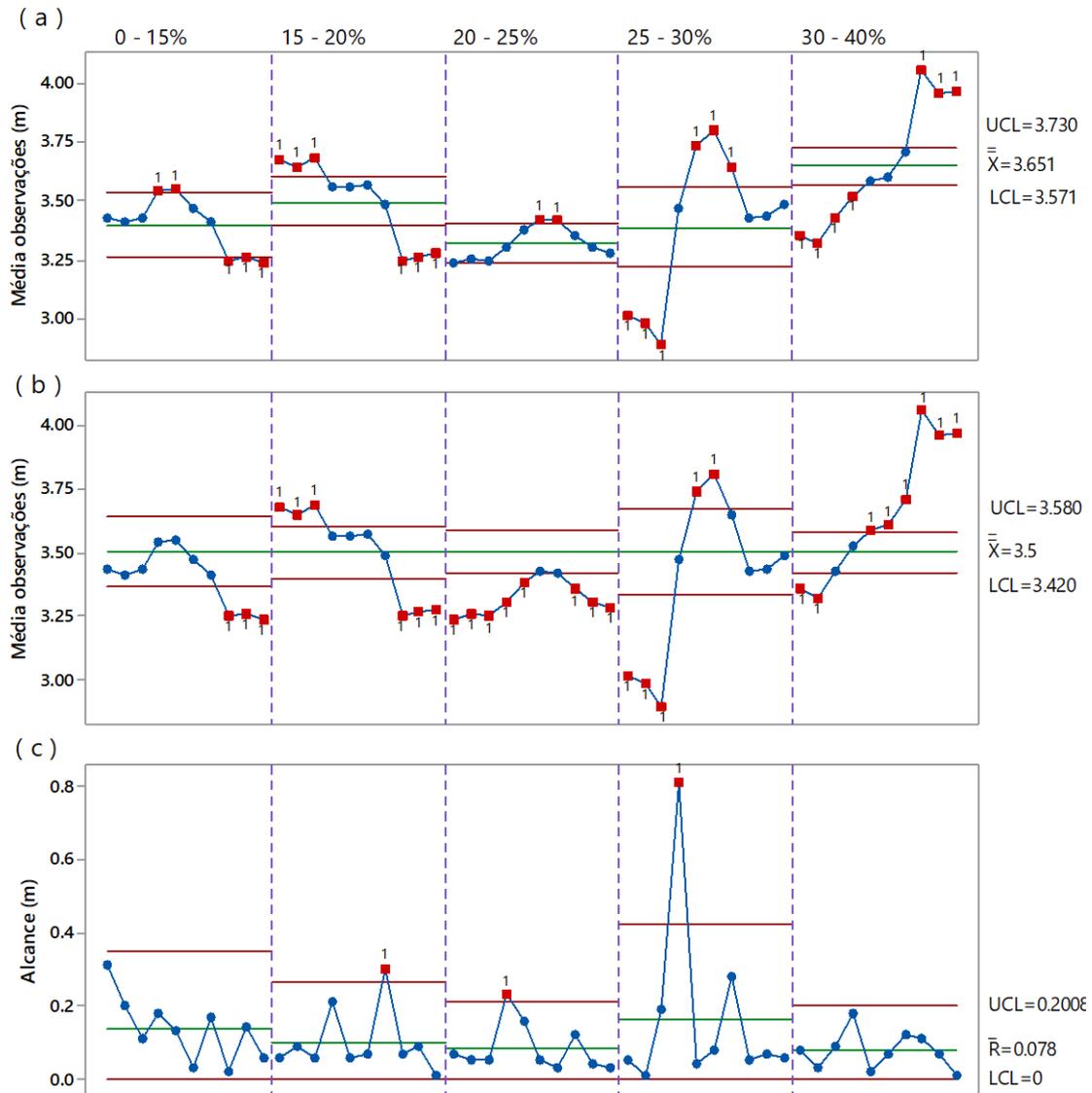


Fig.11. Cartas de controle de variações nas distâncias do espaçamento entre linhas de plantio. A: Médias sob valores médios transplantados, B: Média sob a linha média desejada e C: Alcance dos valores amostrados. UCL: Limite superior e LCL: Limite Inferior.

Os erros de maiores ocorrências acima de 25% podem ser corroborados pesquisas de Bernardes et al. (2012), as quais concluem que as lavouras cafeeiras implantadas em Minas Gerais ocorrem em todas as classes de declividade, sendo a maioria (75%) implantada em declividades inferiores a 20%, permitindo o uso de manejo mecanizado, mas explicam que em algumas regiões o fator declividade não é limitante na implantação dos cafezais. O mesmo foi encontrado nas pesquisas realizadas por Rezende (2008), que consideraram declividades abaixo de 20% aptas a mecanização.

Essas ocorrências podem ter ocorrido porque o operador tenta corrigir os erros de espaçamentos na linha abaixo, fazendo com que em alguns pontos a média da distância entre plantas se eleve e em outros pode ocorrer uma redução, ou seja, os erros ocorridos podem estar

relacionados com a estabilidade da plataforma e isso pode ser agravado com o aumento das declividades.

Conforme apresentado na carta de controle Fig.11b, pode ser observado a influência da declividade nas variações de distancias entre linhas de plantio. Quando se aplica o espaçamento desejado (3,5 m), comparado as variações observadas a campo, todas a inclinações avaliadas ficam fora dos limites de cartas de controle.

Apesar da baixa aceitabilidade de plantio em regiões de alta declividade, os pontos observados na carta de controle da Fig.11b para o plantio em todas inclinações são considerados de causas especiais, ou seja, com melhorias no processo esses erros podem ser corrigidos.

Equipamentos utilizados para o manejo da fertilidade na cafeicultura são regulados de acordo com o espaçamento planejado durante a operação de plantio. Operações como distribuição de adubo na cobertura podem ter sua eficiência comprometida por erros de espaçamentos entre linhas de plantio. No caso das atividades em operações de 30-40% de declividade, a média foi 3,65 m, ou seja, acima da média desejada (3,5 m), as atividades de distribuição de adubo podem não atender as demandas necessárias da planta. Em maiores espaçamentos entre linhas de plantio, a adubação de cobertura pode ser aplicada fora de onde está concentrado a maior parte das raízes, visto que sua maior concentração é encontrada abaixo da arquitetura da planta. Em estudo no Quênia, Huxley (1974) e Covre et al. (2015) observaram que maiores atividades de raízes se encontram em maior atividade na superfície do solo, e distância horizontal entre 0,1 a 0,75 m em relação ao caule da planta.

Nas operações de manejo mecanizado, variações indesejadas nos espaçamentos entre linhas de plantio podem diminuir o desempenho das máquinas. Por exemplo, na operação de roçagem, a largura da plataforma de corte é definida de acordo com o espaçamento adotado pelo produtor. Esta pode ser a operação que sofre maior influência quando se trata de erros nos espaçamentos entre linhas, pois a largura de plataforma das roçadoras convencionais não dispõem de regulagem de largura, fazendo que o produtor compre o implemento de acordo com o espaçamento projetado. Pesquisas de Guerra et al. (2007) consideram que no sistema mecanizado de cultivo do café os espaçamentos entre linhas utilizados são entre 3,8 e 4 m. Porém lavouras cafeeiras podem ser totalmente mecanizadas com espaçamentos de até 3,5 m. Para o caso apresentado nessa pesquisa, foram encontrados erros neste sentido, na qual a área foi submetida a operações de roçagem, mas não conseguiu realizar a operação até o final da entre linha.

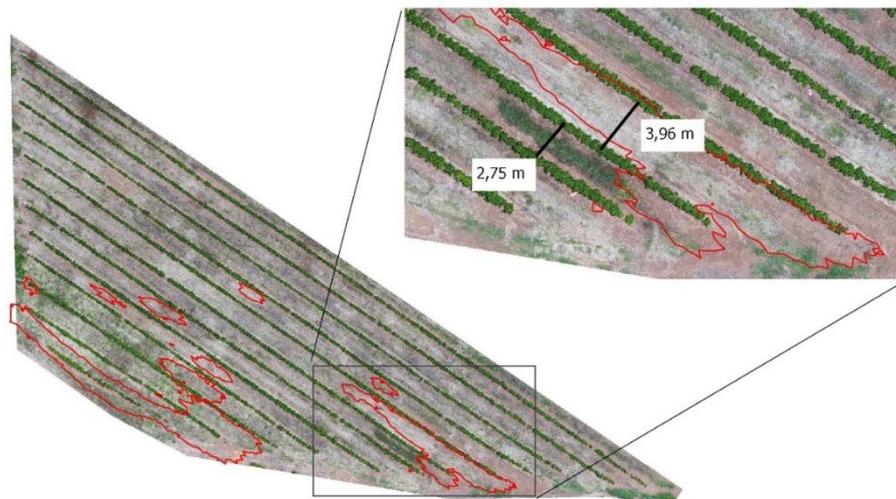


Fig.12. Imagem aérea do plantio após 1 ano de implantação. Em vermelho, as regiões entre 30-40% de declividade.

Como pode ser observado na Fig.12, a operação realizada entre as declividades 30-40% foi interrompida por erros ocorridos no plantio. Neste caso, ocorreu um aumento da distância entre linhas plantio 3,96 m. Em consequência disto, houve o estreitamento da distância entre as linhas abaixo 2,75 m, impedindo a passagem do implemento de roçagem. Para maiores rendimentos no manejo de roçagem, a operação é realizada com o implemento da largura das entrelinhas, pois desse modo as plantas daninhas são cortadas em uma só passagem.

No caso de maiores espaçamentos entre linhas, o manejo de roçagem pode ficar comprometido, pois regiões onde o sistema mecanizado não corta é necessário que um trabalhador faça a roçagem de forma manual ou semimecanizada. Operações como aplicação de defensivos agrícolas estão passíveis de interferências quando se trata de erros nos espaçamentos. Segundo Sousa Júnior et al. (2017), uma das formas de calibração do pulverizador é calcular a quantidade de volume a ser pulverizado. Isso pode ser feito por meio do deslocamento do conjunto mecanizado em 50 m multiplicado pelo espaçamento desejado entre linhas, encontrando assim a quantidade a ser aplicado por hectare. A partir da avaliação de erros no plantio, a pulverização deveria ser corrigida para levar em consideração o real espaçamento da cultura para assim aplicar a quantidade correta de calda, pois o volume calculado pelo produtor é em função do que foi projetado. Com isso, para um espaçamento maior seria necessário um volume maior, e, para um espaçamento menor, um volume menor.

Nas inclinações de 20-25% e 30-40%, as variações de distâncias médias (3,32 e 3,65 m) abaixo e acima do espaçamento entre linha projetado (3,5 m), pode interferir na uniformidade de aplicações via foliar. Santinato et al. (2017) retrata que, seja para controle de doenças fúngicas ou apenas fornecimento de nutrientes via foliar, há a necessidade de uma quantidade

mínima de calda a ser depositada uniformemente em toda a planta. Portanto, para maiores espaçamentos essa quantidade aplicada, pode ser reduzida e em menores distâncias entre plantas pode ser aplicada de forma excessiva.

Estudando a colheita mecanizada, Santinato et al. (2016) atentam para o risco desse tipo de operação em altas declividades, concluindo que em encostas acima de 20% a colheita mecanizada exige 21,6% a mais de tempo a ser realizado do que nas encostas mais baixas. No entanto, erros no alinhamento de podem contribuir ainda mais com o aumento de tempo na colheita, pois exigem aumento de manobras na operação.

Em operações de colheita mecanizada, Silva et al. (1998) atentam para a influência do espaçamento entre linhas no manejo com derriçadoras tracionadas por trator e definem um espaçamento mínimo de 3,5 m entre linhas de plantio e com plantas bem alinhadas. Neste estudo, foram encontrados espaçamentos que não atendem os requisitos de manejo com derriçadoras tracionadas por trator. As declividades 0-15%, 20-25% e 25-30% apresentaram, respectivamente, espaçamento entre linhas de (3,34m), (3,32m) e (3,39m).

Diante das avaliações realizadas, foi possível observar que no processo de plantio semimecanizado, são encontrados erros de causas especiais, com isso são possíveis serem feitos ajustes para melhorias das variações do plantio em declividade.

4. Conclusões

A distribuição de mudas no sistema semimecanizado foi menos eficiente quando realizadas em declividades entre 20 e 25%. Uma melhor distribuição de mudas foi encontrada quando o plantio é realizado em declividade 30-40%. Espaçamentos entre linhas de plantio e entre plantas na linha sofreram interferências diante de variações na declividade. Portanto, ressalta-se que os espaçamentos entre linhas de plantio são os mais afetados.

Para as declividades observadas, os testes de média apresentaram diferenças significativas no espaçamento entre plantas na linha de plantio quando comparadas as declividades 0-15% e 30-40%. Pode-se dizer que declividades acima de 20% não são consideradas inaptas quando se leva em conta espaçamento entre plantas na linha. As interferências no espaçamento entre linhas de plantio podem ser corrigidas por meio de adequações no sistema transplantador.

Referências

- Akturk, E., Altunel, A. O., 2019. Accuracy assesment of a low-cost UAV derived digital elevation model (DEM) in a highly broken and vegetated terrain. *Measurement*, 136, 382-386.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728.
- Alves, E. L., Pereira, F. A. C., Dalchiavon, F. C., 2017. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café, um estudo de caso. *Revista iPecege*, 3, 24-38.
- Aparecido, L. E. D. O., Souza, I. T. D., Miranda, G. R. B., Moraes, J. R. D. S. C. D., Moraes-Oliveira, A. F. D., Paula, F. V. D., 2017. Tipos de plantio e fertilizante biológico no cafeeiro em função do índice térmico. *Coffee Science*, 12, 307-315.
- Baitelle, D. C., Freitas, S. D. J., Vieira, K. M., 2018. Feasibility and Economic Risk of Programmed Pruning Cycle in Arabic Coffee. *Journal of Experimental Agriculture International*, 21, 1-9.
- Bernardes, T., Moreira, M. A., Adami, M., Rudorff, B. F. T., 2012. Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de Minas Gerais-Brasil. *Coffee Science*, 7, 139-151.
- Carrijo, G. L., Oliveira, D. E., de Assis, G. A., Carneiro, M. G., Guizilini, V. C., Souza, J. R., 2017. Automatic detection of fruits in coffee crops from aerial images. In *Latin American Robotics Symposium (LARS) and Brazilian Symposium on Robotics (SBR)*, 1-6.
- Chemura, A., Mutanga, O., Dube, T., 2017. Integrating age in the detection and mapping of incongruous patches in coffee (*Coffea arabica*) plantations using multi-temporal Landsat 8 NDVI anomalies. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 57, 1-13.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Gontijo, I., Zucoloto, M., 2015. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 1006-1016.
- D'Oleire-Oltmanns, S., Marzolf, I., Peter, K., Ries, J., 2012. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4, 3390-3416.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, 2018. 5. ed.
- Gimenes, G. R., de Oliveira, R. B., da Silva, A. F., Reis, L. C., da Silveira Reis, T. E., 2017. Mapping of slopes for the operation of agricultural harvesters in Bandeirantes Municipality (PR). *Semina, Ciências Agrárias*, 38, 97-107.
- Godina, R., Matias, J. C., Azevedo, S. G., 2016. Quality improvement with statistical process control in the automotive industry. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, 7, 1-8.
- Guerra, A. F., Rocha, O. C., Rodrigues, G. C., Sanzonowicz, C., Mera, A. C., Cordeiro, A., 2007. Comportamento de três cultivares de café submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas e regimes hídricos no cerrado. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados*. 17p.
- Hadian, H., Rahimifard, A., 2019. Multivariate statistical control chart and process capability indices for simultaneous monitoring of project duration and cost. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 788-797.
- Höfig, P., Araujo-junior C.F., 2015. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. *Coffee Science*, 10, 195-203.
- Huxley, P. A., Patel, R. Z., Kabaara, A. M., Mitchell, H. W., 1974. Tracer studies with 32P on the distribution of functional roots of Arabica coffee in Kenya. *Annals of Applied Biology*, 77(2), 159-180.
- Liba, N., Berg-jürgens, J., 2015. Accuracy of Orthomosaic Generated by Different Methods in Example of UAV Platform MUST Q. In, *IOP CONFERENCE SERIES, Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012-041.
- Marchi, E. C. S., de Campos, K. P., Corrêa, J. B. D., Guimarães, R. J., Souza, C. A. S., 2015.
- Martins, P. G., Laugení, F. R., Administração da produção. 2. ed. São Paulo, Editora Saraiva, 2005.
- Molnau, W. E., Montgomery, D. C., Runger, G. C., 2001. Statistically constrained economic design of the multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Quality and Reliability Engineering International*, 17 (1), 39-49.
- Montgomery, D. C. Introduction to statistical quality control. J Wiley, 2007.
- Oliveira, T. T., Da Silva, R. P., Santinato, F., Dos Santos, A. F., PAIXAO, C. S. S., De Albuquerque, S. V., 2016. Operational performance of the mechanized picking of coffee in four soil slope. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), 4857-4863.
- Peloia, P. R., Milan, M., Romanelli, T. L., 2010. Capacity of the mechanical harvesting process of sugarcane billets. *Scientia Agricola, Piracicaba*, 67 (6), 619-623.
- Pereira, S. P., Bartholo, G. F., Baliza, D. P., Sobreira, F. M., Guimarães, R. J., 2011. Crescimento, produtividade e bionalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (2), 152-160.

- Rangel, J. M. G., Gonçalves, G. R., & Pérez, J. A. (2018). The impact of number and spatial distribution of GCPs on the positional accuracy of geospatial products derived from low-cost UASs. *International journal of remote sensing*, 39(21), 7154-7171.
- Rezende, F.A. Determinação de áreas cafeeiras mecanizáveis no sul de Minas Gerais com cenários de colheita, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 94 p.
- Santinato, F., Ruas, R. A. A., Silva, C. D. D., Silva, R. P. D., Gonçalves, A. A. R., Souza Júnior, J. M. D., 2017. Deposição da calda de pulverização em diferentes volumes vegetativos de Coffea arabica L. *Coffee Science*, 12 (1), 69 - 73.
- Santinato, F., Silva, R. P. D., Silva, V. D. A., SILVA, C. D. D., Tavares, T. D. O. 2016. Mechanical Harvesting of Coffee in High Slope. *Revista Caatinga*, 29(3), 685-691.
- Silva, F. M., Salvador, N. Mecanização da lavoura cafeeira. Lavras, UFLA, 1998. 55 p
- Silva, J. A. R. D., Oliveira Júnior, G. G. D., Costa, C. E. D. M., Silva, A. B. D., Gabriel, C. P. C., Putti, F. F., 2018. Occupational noise level in mechanized and semimechanized harvest of coffee fruits. *Coffee Science*, 13, 448-454.
- Silva, R. P. D., Voltarelli, M. A., Cassia, M. T., Vidal, D. O., Cavichioli, F. A., 2014. Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e plantio mecanizado de mudas de café. *Coffee Science*, 9 (1), 51-60.
- Sobrevivência de mudas de cafeeiro produzidas em sacos plásticos e tubetes no sistema convencional e plantio direto, em duas classes de solo. *Ceres*, 50, n. (290), 407-416.
- Sousa Júnior, J. M. D., Ruas, R. A. A., Silva, C. D. D., Faria, V. R., Carvalho Filho, A., Vieira, L. C., 2017. Determinação do índice de volume de pulverização para a cultura do café. *Coffee Science*, 12 (1), 82 - 90.
- Taruna, B., Putra, W., Soni, P., 2018. Enhanced broadband greenness in assessing Chlorophyll a and b, Carotenoid and Nitrogen in Robusta coffee. *Precision Agriculture*, 19 (2), 238–256.
- Uysal, M., Toprak, A. S., Polat, N., 2015. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73, 539-543.
- Zhang, C., Kovacs, J. M., 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture, A review. *Precision Agriculture*, 13 (6), 693–712.