

COMPORTAMENTO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM CAFEZEIROS UTILIZANDO SENSOR MULTIESPECTRAL EM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

BEHAVIOR OF VEGETATION INDEXES IN COFFEE TREES THROUGH DATA CAPTURED BY MULTISPECTRAL SENSOR IN REMOTE PILOTED AIRCRAFT

¹Thalles Marques Polido Fabri.

²Gustavo Marroquio de Mello.

^{3*}Jéferson Luiz Ferrari.

⁴João Batista Esteves Peluzio.

⁵Mauricio Novaes Souza.

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. E-mail: thallesmarques013@gmail.com.

²WTM-Engenharia de Precisão, E-mail: gustavoagromello@gmail.com.

³Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. E-mail: ferrarijl@ifes.edu.br.

⁴Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. E-mail: jbpeluzio@ifes.edu.br.

⁵Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. E-mail: mauricios.novaes@ifes.edu.br.

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 09/08/2022, aceito em 28/03/2023 e publicado em 30/04/2023.

Resumo: Objetivou-se analisar o comportamento dos índices de vegetação em cafeeiros por meio de sensor multiespectral acoplado em veículo aéreo não tripulado. O trabalho foi realizado nas lavouras de café do Setor de Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, Sul do Espírito Santo. Os índices de vegetação foram gerados por meio do uso de um programa computacional de Sistema de Informação Geográfica, o QGIS 3.4.5, tendo como base um ortomosaico de imagens capturadas por uma Câmera Multiespectral MicaSense RedEdge, acoplada em um drone DJI Matrice 100. De posse do ortomosaico foram gerados três índices de vegetação, sendo um, na região espectral do visível, o Índice de Folha Verde (GLI); e dois na região espectral do não visível, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice da Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha (NDRE). Foi realizado, no mesmo mês do voo, um levantamento georreferenciado da altura, dos diâmetros inferior e superior da copa, da área superior da copa e do volume da copa de 70 cafeeiros e foi estudada a correlação linear dessas variáveis biofísicas com os valores dos índices de vegetação. Verificou-se que os índices de vegetação discriminam o vigor vegetativo das lavouras de café. O NDVI foi o índice de vegetação que apresentou a maior correlação com as variáveis biofísicas mensuradas dos cafeeiros, principalmente para a altura e os diâmetros inferior e superior da copa. O GLI foi o índice que apresentou a maior correlação com NDVI.

Palavras-chave: café; drone; geotecnologias; mapeamento.

Abstract: This work aimed to analyze the behavior of vegetation indexes in coffee trees by means of a multispectral sensor coupled in an unmanned aerial vehicle. The work was carried out in the coffee

plantations of the Coffee Sector of the Federal Institute of Espírito Santo, Alegre Campus, south of Espírito Santo. The vegetation indexes were generated through geographic information system, using the computer program QGIS Desktop 3.4.5, using as a base a mosaic formed by images captured by a MicaSense RedEdge Multispectral Camera, which was coupled to a DJI Matrice 100 drone. In the QGIS Raster Calculator, three vegetation indexes were generated, one in the spectral region of the visible, the Green Leaf Index (GLI); and two in the spectral region of the non-visible, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Index in the Red Border Band (NDRE). In the same month of the flight, a georeferenced survey of the height, the lower and upper diameter of the canopy, the upper canopy area and the volume of the canopy of 70 coffee trees was performed and the linear correlation of these biophysical variables with the values of the coffee tree vegetation indexes was studied. It was verified that the vegetation indexes discriminate the vegetative vigor of coffee crops. The NDVI was the vegetation index that presented the highest correlation with the biophysical variables measured from coffee trees, mainly for the height and the lower and upper diameters of the canopy of coffee trees. GLI was the index with the highest correlation with NDVI.

Keywords: coffee; drone; geotechnologies; mapping.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, com uma produção de 63,08 milhões sacas de 60 kg em 2020, representando um recorde dentro da série histórica nacional de produção de café (CONAB, 2020). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de 8 milhões de empregos no País, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (MAPA, 2018).

Devido à competitividade existente na economia mundial há, de forma crescente, a necessidade do aumento da eficiência dos sistemas de produção. Com a evolução da informática, das tecnologias em geoprocessamento, dos sistemas de posicionamento global, entre outras tecnologias, está sendo possível uma nova forma de enxergar agricultura, fazendo com que uma simples propriedade se torne um polo produtivo, altamente tecnificado e diversificado. Esta mudança na forma de fazer agricultura está tornando de forma consistente o produtor rural um empresário rural, por controlar cada vez mais a linha de produção (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Dentre tais tecnologias, destacam-se os sensores acoplados em Aeronaves

Remotamente Pilotadas (ARPS), também denominadas por drones e ou por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) (JORGE; INAMASU, 2014). Segundo Andrade et al. (2019), muitos estudos de monitoramento de culturas agrícolas, como na cafeicultura, podem ser realizados por meio de imagens capturadas por diversos tipos de sensores acoplados nessas plataformas. Isso ocorre devido ao alto potencial que esta tecnologia apresenta na estimativa de produtividade, desenvolvimento e vigor vegetativo.

Damian et al. (2016) afirmam que a tecnologia dos ARPS representa a mais recente evolução na agricultura. As ARPS permitem uma maior frequência de aquisição de dados com uma resolução espacial alta, possibilitando um significativo grau de acurácia posicional, comumente utilizada na agricultura de precisão (RENNER et al., 2020).

As imagens capturadas por tais tecnologias podem ser obtidas por meio de sensores multiespectrais ou não, e possibilitam a geração de vários produtos: entre eles, o produto cartográfico chamado de ortomosaico que pode ser empregado para trabalhos de fotointerpretação e medição de alvos terrestres e para a determinação de índices de vegetação, medidas radiométricas que visam a determinação de parâmetros biofísicos e características da vegetação, como área

foliar, fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade, por meio da reflectância dos espectros eletromagnéticos (FURLANETTO et al., 2017).

Há muitos índices de vegetação, alguns são funcionalmente equivalentes em termos de conteúdo de informação, outros fornecem informações biofísicas singulares (JENSEN, 2009; LIU, 2015). Os índices utilizados nesse trabalho foram: O Índice Folha Verde (GLI), que tem sido aplicado na distinção entre vegetação fotossinteticamente ativa e vegetação seca com exposição de solo (GITELSON et al., 2002; ANDRADE et al., 2019); o Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido para o realce da vegetação herbáceo-arbustiva, tendo em vista aspectos de saturação para vegetação densa (ROUSE et al., 1974; CHAVES et al., 2010); e o Índice da Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha (NDRE), que permite a distinção de nuances entre as forragens com vigor distintas e o ruído representado pelos solos (BUSCHMANN; NAGEL, 1993;

BLOSFELD et al., 2019; HOTT et al., 2019).

Entender as características específicas desses índices de vegetação em cafeeiros, em ambiente de produção, possibilitaria aperfeiçoar a adoção das estratégias de manejo na perspectiva de uma cafeicultura mais tecnificada.

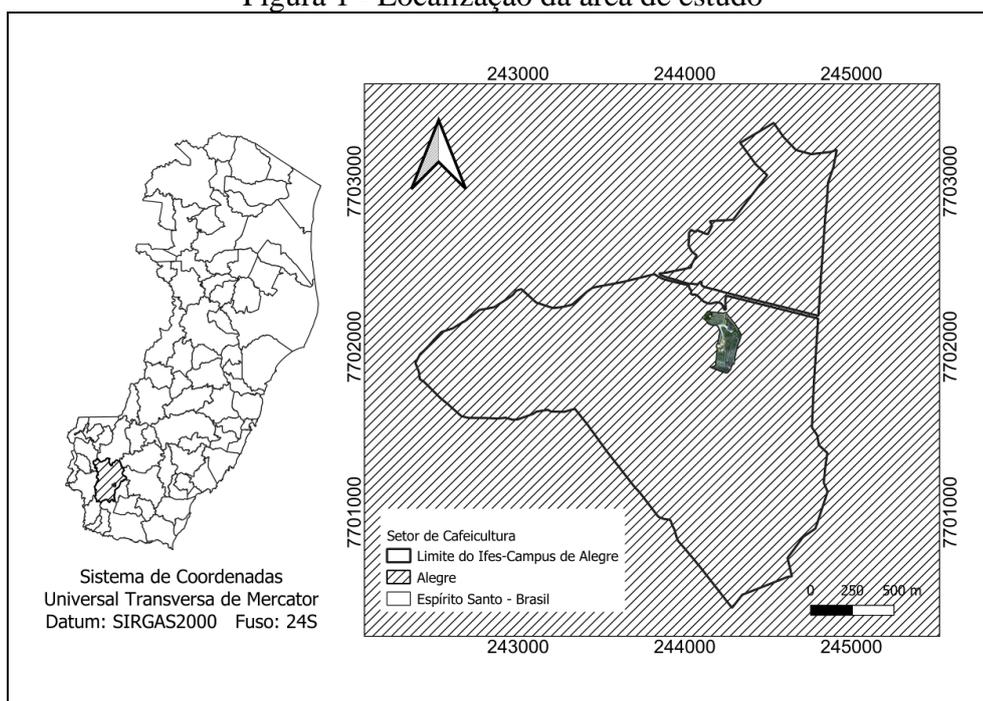
Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento dos índices de vegetação GLI, NDVI e NDRE em cafeeiros, em ambiente de produção, por meio de sensor multiespectral acoplado em aeronave remotamente pilotada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no Setor de Cafeicultura do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre (Figura 1), localizado no município de Alegre, Sul do Estado do Espírito Santo (latitude 20°45'47"S e longitude de 41°27'22"O)

Figura 1 - Localização da área de estudo



Segundo Batista (2018), o parque cafeeiro do Ifes-Campus de Alegre é formado por lavouras das espécies arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). Na

Figura 2 é mostrada a distribuição espacial das lavouras e, na Tabela 1, suas respectivas áreas.

Figura 2 – Distribuição espacial das lavouras de café no Setor de Cafeicultura do Ifes-Campus de Alegre



Tabela 1 – Áreas das lavouras de café no Setor de Cafeicultura do Ifes-Campus de Alegre

ID	Café	Variedade	Área (m ²)
1	Arábica	Topázio 608, Obatã 611, Catuaí Amarelo 495, Catuaí Vermelho 460, Tupi e Tupi 450	5.333,2
2	Conilon	Robustão Capixaba 8141	1.639,7
3	Conilon	Vitória Incaper 8142	495,7
4	Conilon	Robusta Tropical Emcaper 8151	2.574,6
5	Conilon	Variedade não identificada	749,1
6	Conilon	Vitória Incaper 8142	5.874,2
7	Arábica	Variedade não identificada	2.220,7
8	Conilon	Variedade não identificada	3.542,3
9	Conilon	Variedade não identificada	1.489,1
10	Conilon	Variedade não identificada	1.195,3
11	Conilon	Vitória Incaper 8142	2.632,7
Total	-	-	27.746,6

Fonte: Silva et al. (2020).

O conilon é o mais cultivado, com destaque para as variedades Conilon Vitória 8142 e Robusta Tropical Encaper 8151. Entre as variedades de café arábica, sobressaem-se: Topázio 608, Obatã 611, Catuaí Amarelo 495, Catuaí Vermelho 460, Tupi e Tupi 450. O espaçamento utilizado para as variedades de conilon é de 3,0 x 1,0 m; e para o arábica é de 2,0 x 1,0 m (BATISTA, 2018).

Todas as lavouras são conduzidas sob manejo convencional. Os principais tratamentos culturais são a adubação química, a roçada, a capina química, a desbrota e a irrigação (BATISTA, 2018).

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A geração e análise dos índices de vegetação foi feita por meio de Sistema de Informação Geográfica utilizando o programa computacional QGIS Desktop 3.4.5 (SHERMAN et al., 2018). Os índices de vegetação foram gerados a partir de um ortomosaico formado de imagens multiespectrais obtidas por uma Câmera Multiespectral MicaSense RedEdge

acoplada em drone DJI Matrice 100 (Figura 3).

Figura 3 – Aeronave Remotamente Pilotada e sensor multiespectral utilizado no voo



Fonte: Elaborada pelos autores.

A câmera possui peso de 231,9 g, dimensões de 8,7 cm x 5,9 cm x 4,54 cm, e obturadores para capturar imagens nas faixas espectrais Azul, Verde, Vermelho, Vermelho limítrofe e Infravermelho próximo.

O voo ocorreu no dia 18 de dezembro de 2019, às 12 h e 30 min. As configurações do plano de voo foram: altitude do voo (142 m); número de imagens (6.500); e *Ground Sample Distance* (GSD) (9,38 cm pix-1). Ressalta-se que, antes e após a realização do voo, foi feita a calibração do sensor multiespectral tomando como base uma referência de reflectância conhecida.

O processamento digital das imagens para a geração do ortomosaico foi realizado pelo uso do programa computacional Agisoft PhotoScan Pro (www.agisoft.com). O Sistema de Coordenadas de Referência adotado foi o SIRGAS 2000, UTM Zona 24 Sul.

De posse do ortomosaico, na Calculadora Raster do QGIS, foram gerados três índices de vegetação, sendo um baseado no RGB, o Índice de Folha Verde - GLI (Equação 1), proposto por Gitelson et al. (2002); e dois no NIR e RRE, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (Equação 2), proposto por Rouse et al. (1974), e o Índice de *RedEdge* por diferença normalizada - NDRE (Equação 3), proposto por Buschmann e Nagel (1993).

$$GLI = \frac{(2 * RG - RR - RB)}{(2 * RG + RR + RB)} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que: GLI = Índice de Folha Verde; R = Refletância (%), RR = *Red* (Vermelho), RG = *Green* (Verde), RB = *Blue* (Azul),

$$NDVI = \frac{(RNIR - RRE)}{(RNIR + RRE)} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que: NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; RNIR = *Near-infrared* (Infravermelho próximo), RR = *Red* (Vermelho).

$$NDRE = \frac{(RNIR - RRE)}{(RNIR + RRE)} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que: NDRE = Índice de *RedEdge* por diferença normalizada; RNIR = *Near-infrared* (Infravermelho próximo), RRE = *RedEdge* (Região de rápidas mudanças na refletância na faixa de infravermelho próximo do espectro eletromagnético).

Para a renderização de todos os índices de vegetação, foi empregada a banda simples falsa-cor, o interpolador Linear, Configuração de valor Mín/Máx, paleta de cores do tipo *Spectral* e Modo contínuo de classificação. A escolha dessa paleta de cores se deve pela sua variação do “vermelho ao verde”, mostrando que as tonalidades vermelho-alaranjado-amarelo indicam solo nu ou vegetação morta, e as tonalidades de verde, cobertura vegetal ativa e densa.

Em seguida, visando estudar a correlação dos valores dos índices de vegetação dos cafeeiros com parâmetros biofísicos dos mesmos foi feito, no mesmo mês do voo, um levantamento georreferenciado da altura, do diâmetro inferior e superior da copa, da área superior da copa e do volume da copa em 70 pontos amostrais (Tabela 2). Cada ponto amostral foi constituído por uma única planta.

Tabela 2 – Equipamentos e recursos utilizados para o georreferenciamento e determinação das variáveis biofísicas dos cafeeiros

Características observadas	Equipamento/Recurso
Georreferenciamento dos cafeeiros	Receptor GPS/Medição indireta
Altura dos cafeeiros (m)	Estadia/Medição direta
Diâmetros das copas dos cafeeiros (m)	Estadia/Medição direta
Área superior das copas dos cafeeiros (m ²)	Equação/Medição indireta
Volume das copas dos cafeeiros (m ³)	Equação/Medição indireta

Fonte: Elaborada pelos autores.

A escolha dos cafeeiros foi feita de modo aleatório, por meio de caminhamento do tipo zigue-zague. O georreferenciamento foi feito utilizando o Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator e datum WGS-84. A altura da planta foi medida se levando em consideração a distância vertical do último par de folhas completamente expandidas à superfície do solo. O diâmetro inferior e superior das copas foram medidos nos terços superior e inferior de cada planta. A área superior da copa de cada cafeeiro foi determinada pela Equação 4 e o volume das copas, pela Equação 5.

$$A_{CopaSuperior} = \pi * r^2 \quad \text{Eq. 4}$$

Em que: $A_{CopaSuperior}$ = área superior da copa do cafeeiro (m²); π = constante matemática (3,1415...); r = raio superior da copa (m), sendo a metade do diâmetro superior.

$$V_{CopaCafeeiro} = \frac{\pi * H}{3} (R^2 + R * r + r^2) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que: $A_{CopaSuperior}$ = volume da copa do cafeeiro (m³); π = constante matemática (3,1415...); r = raio superior da copa (m), sendo a metade do diâmetro superior; H = altura do cafeeiro (m); R = raio inferior da copa (m), sendo a metade do diâmetro inferior.

De posse de todos esses dados, foi criada uma planilha eletrônica e adicionado, no programa computacional QGIS, uma camada de texto delimitado visando a criação de um arquivo vetorial

do tipo “*shapefile*” e realização da sobreposição desses dados com os índices de vegetação. Em seguida, foi realizada a extração e a tabulação dos índices de vegetação considerando como referência o arquivo vetorial *shapefile* criado. A extração dos valores dos índices de vegetação foi realizada de forma automática por meio do Complemento *Poin Sampling Tools*. De cada cafeeiro foram extraídos 15 pixels (1.441 cm²), totalizando 1.050 pixels por índice de vegetação. O tamanho de cada pixel foi de 9,8 x 9,8 cm.

Foi realizada uma análise descritiva dos resultados e testadas as correlações lineares de Pearson envolvendo os índices de vegetação (GLI, NDVI, NDRE) e as seguintes características morfológicas dos cafeeiros: altura, diâmetro inferior e superior da copa, área superior da copa e volume da copa. A significância das correlações de Pearson foi testada por meio do teste t – Student ao nível de 5% de probabilidade (PIMENTEL GOMES, 2009). O programa estatístico utilizado foi o Infostat (DI RIENZO et al., 2011). Para a análise das correlações foram utilizados as faixas e interpretações mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Interpretação da correlação

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Figueiredo Filho; Silva Junior (2009).

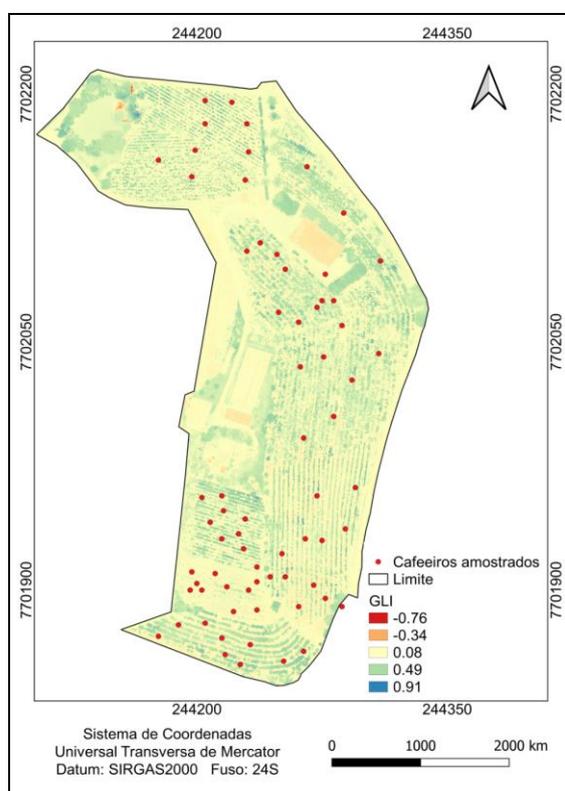
Foi também realizada a caracterização da precipitação pluviométrica e da temperatura média do ar no mês referente ao voo, utilizando os dados disponibilizados pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia na opção Estações automáticas Alegre-A617, Código OMM: 86828 (INMET, 2019).

Ressalta-se que no dia do voo estiveram presentes as seguintes condições: pressão atmosférica 997,8 mB, radiação global 2628,1 KJ m⁻², temperatura do ar 30,6°C, umidade relativa do ar 49% e vento 3,0 m s⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de GLI para a área de estudo variaram de -0,76 a 0,91, com amplitude de 1,67 (Figura 4).

Figura 4 – Índice de vegetação GLI da área de estudo e cafeeiros amostrados



Fonte: Elaborada pelos autores.

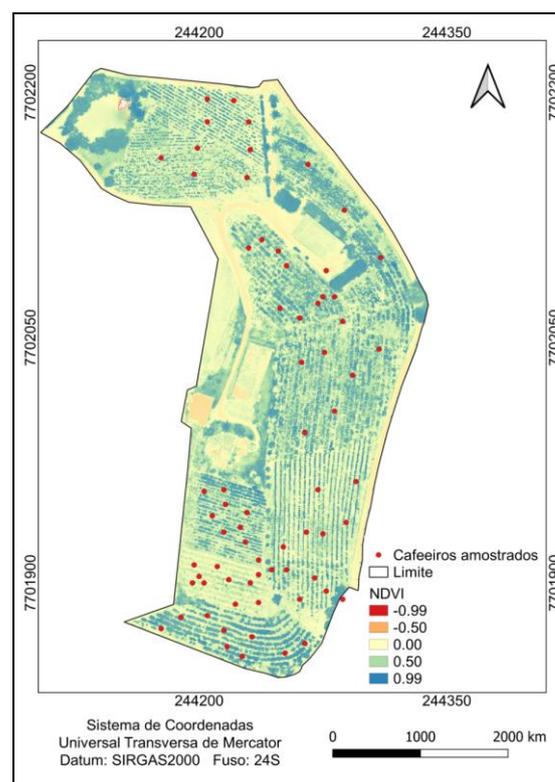
De acordo com Louhaichi, Borman e Johnson (2001), o índice GLI avalia a

diferença normalizada das reflectâncias das faixas espectrais do azul, verde e vermelho e gera uma imagem com amplitude de -1 a 1, onde os valores negativos representam áreas de solo e valores positivos, da vegetação (LOUHAICHI; BORMAN; JOHNSON, 2001; LIM SOON et al., 2019).

Segundo Andrade et al. (2019), o índice GLI foi desenvolvido para, distinguir no campo, a vegetação fotossinteticamente ativa (plantas vivas) em relação à vegetação seca (não viva) e o solo exposto.

O menor valor de NDVI para a área de estudo foi de -0,99 e o maior de 0,99. A amplitude foi de 1,98 (Figura 5).

Figura 5 – Índice de vegetação NDVI da área de estudo e cafeeiros amostrados



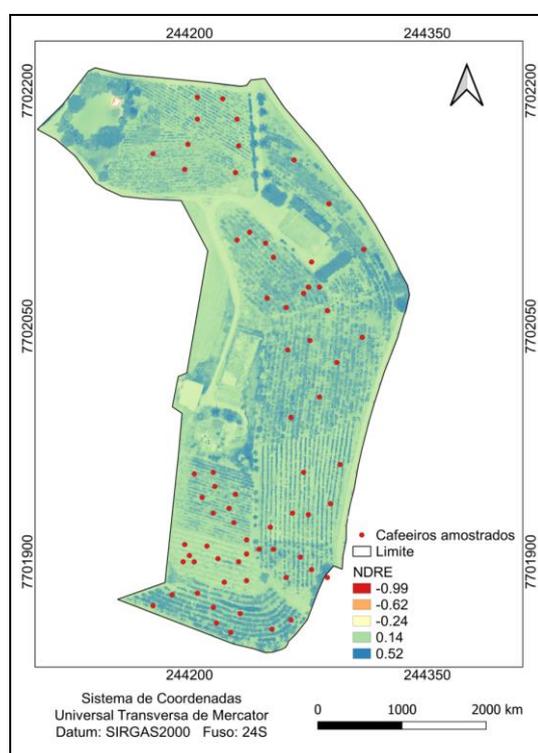
Fonte: Elaborada pelos autores.

O NDVI é um índice estrutural, muito utilizado para monitoramento agrícola por apresentar fortes características com o crescimento das culturas. Segundo Braz, De Andrade e

Garcia (2015), os resultados do NDVI variam de -1 a 1, onde os valores próximos de 1 representam áreas com maior vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os valores próximos de -1 representam áreas com menor vegetação ativa.

Na Figura 6 é apresentado o resultado da aplicação do Índice de vegetação NDRE da área de estudo e cafeeiros amostrados.

Figura 6 – Índice de vegetação NDRE da área de estudo e cafeeiros amostrados



Fonte: Elaborada pelos autores.

O índice NDRE é um índice similar ao NDVI, utilizado para avaliar o teor de clorofila nas plantas, capaz de fornecer uma melhor análise de colheitas permanentes ou de estágio posterior (TAIPALE, 2018).

O NDRE possui muitas vantagens: entre elas, pode-se destacar sua capacidade de medir mais a fundo o dossel das plantas, além de ser menos propenso a saturação. Desta forma, fornece melhores respostas quando se trata de culturas permanentes ou

de estágio posterior, sendo possível, às vezes, apresentar uma medição de variabilidade melhor que o NDVI (TAIPALE, 2018).

Os resultados da estatística descritiva dos índices de vegetação e das características morfológicas dos cafeeiros amostrados são mostrados na Tabela 4. Verifica-se que o NDVI apresentou uma média de 0,75 com valor mínimo de 0,24 e máximo de 0,90, indicando que as lavouras apresentaram inúmeras falhas e pouco vigor vegetativo na maioria dos talhões.

A aplicação do GLI resultou em um valor médio de 0,44, indicando plantas ativas com boa atividade fotossintetizante. A relação entre o resultado mínimo e o máximo do GLI mostrado na Tabela 4, expõe a existência de vegetação inativa ou com taxa mínima fotossintetizante.

Os resultados do índice NDRE refletem plantas com vigor vegetativo excelente. Ao contrário dos índices anteriores, o NDRE apresentou resultados com uma variação entre plantas em ótimo estado e com boa atividade vegetativa. Este resultado pode ser explicado devido à utilização do *RedEdge* no NDRE, pois assim o índice fornece uma medida que é menos absorvida apenas pelas camadas mais superiores das folhas e pode dar uma melhor imagem das culturas permanentes ou posteriores porque é capaz de penetrar mais no interior do dossel (SOUZA et al., 2020).

A altura do cafeeiro apresentou o menor valor de coeficiente de variação em relação às outras características agrônômicas dos cafeeiros, tendo o coeficiente de variação no valor de 33,53%. O volume da copa e a área superior da copa foram as características que apresentaram a maior variabilidade (90,53% e 89,33%, respectivamente). Tais valores são considerados elevados e podem ser explicados pela diversidade de espécies, variedades, idades e condições de manejo das lavouras de café. Além disso, essa variabilidade mostra-se importante para testar e validar a técnica sugerida.

Tabela 4 – Resultados da estatística descritiva dos índices de vegetação e das características morfológicas dos cafeeiros amostrados

Variáveis	Média	D.P	CV (%)	Mín	Máx	p Valor
GLI	0,44	0,12	27,45	0,00	0,61	<0,0001
NDVI	0,75	0,15	20,43	0,24	0,90	<0,0001
NDRE	0,32	0,08	23,24	0,12	0,44	<0,0001
Altura do cafeeiro (m)	1,59	0,53	33,53	0,42	2,49	<0,0001
Diâmetro inferior da copa (m)	1,88	0,78	41,80	0,53	3,10	<0,0001
Diâmetro superior da copa (m)	1,66	0,88	52,72	0,34	3,14	<0,0001
Área superior da copa (m ²)	2,76	2,47	89,33	0,09	7,74	<0,0001
Volume da copa (m ³)	5,69	5,15	90,53	0,06	17,65	<0,0001

Nota: GLI = Índice de Folha Verde; NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NDRE = índice de rededge por diferença normalizada; D.P = Desvio-padrão; CV = Coeficiente de variação; Mín = Valor mínimo; Máx = Valor máximo; p Valor = Distribuição normal pelo Teste Shapiro-Wilks.

Fonte: Elaborada pelos autores.

As correlações lineares entre as variáveis estudadas são mostradas na Tabela 5. Verifica-se que, entre os índices de vegetação, as maiores correlações positivas e significativas ocorreram entre o GLI e o NDVI (0,91) e entre NDVI e o NDRE (0,83), sendo consideradas muito forte e forte, respectivamente, segundo adaptação de Figueiredo Filho e Silva Junior (2009).

Observa-se que a altura do cafeeiro apresentou fortes e significativas correlações com diâmetro inferior (0,84), diâmetro superior (0,77), área superior (0,70) e volume da copa (0,78), indicando que existe uma correlação linear positiva entre essas características, em função da espécie e do manejo cultural adotado nos

talhões. Quanto maior a altura da planta, maior está sendo a área e o volume da copa. Os diâmetros inferior e superior apresentaram correlações muito fortes com volume da copa, área superior e entre si, apresentando também correlações fortes com a altura.

As copas dos cafeeiros possuem, de forma geral, o formato de um cilindro ou de um cilindro cônico, com um ou mais ramos verticais, chamados de ortotrópicos, de onde crescem ramificações laterais, denominadas de ramos plagiotrópicos. Ainda, vale destacar que alterações morfológicas da copa podem ocorrer em função da espécie, do espaçamento e do manejo cultural (MATIELLO et al., 2020).

Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Person (r) entre os índices de vegetação e as características morfológicas dos cafeeiros

Variáveis	GLI	NDVI	NDRE	Altura	Diâmetro inferior	Diâmetro superior	Área superior	Volume da copa
GLI	1,00	0,91*	0,61*	0,46*	0,34*	0,30*	0,22 ^{ns}	0,22 ^{ns}
NDVI		1,00	0,83*	0,58*	0,48*	0,41*	0,32*	0,33*
NDRE			1,00	0,49*	0,47*	0,37*	0,29	0,31
Altura				1,00	0,84*	0,77*	0,70*	0,78*
Diâmetro inferior					1,00	0,95*	0,91*	0,94*
Diâmetro superior						1,00	0,98*	0,96*
Área superior							1,00	0,97*
Volume da copa								1,00

* Correlações de Pearson significativa testada por meio do teste t – Student a nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelos autores

A área superior do cafeeiro expressou forte e significativa correlação com a altura (0,70) e correlações muito fortes significativas com volume da copa (0,97), diâmetro superior (0,98), diâmetro inferior (0,91). O volume da copa, não muito diferente da área superior, mostrou correlações muito fortes e significativas com diâmetro inferior (0,94), diâmetro superior (0,96), área superior (0,97) e uma correlação forte e significativa com altura (0,78).

As variáveis altura, diâmetro inferior, diâmetro superior, área superior e volume da copa manifestaram uma correlação muito baixa em relação aos índices de vegetação. Todavia, as correlações entre os índices e a altura da planta e os diâmetros inferior e superior foram significativas.

O índice GLI apresentou baixa correlação com altura (0,46), diâmetro inferior (0,34), diâmetro superior (0,30) e correlações insignificantes com área superior (0,22) e volume da copa (0,22). O NDVI mostrou correlação média com altura (0,58) e correlação baixa com

diâmetro inferior (0,48), diâmetro superior (0,41), área superior (0,32) e volume da copa (0,33). O NDRE por sua vez demonstrou uma correlação baixa com altura (0,49) e correlação baixa com diâmetro inferior (0,47), diâmetro superior (0,37), área superior (0,29) e volume da copa (0,31).

5 CONCLUSÕES

Levando-se em consideração as condições desse experimento, pode-se concluir que:

O sensor multiespectral acoplado em aeronave remotamente pilotada permitiu a determinação de índices de vegetação para bandas do espectro do visível – RGB e do não visível.

Os índices de vegetação possibilitaram a discriminação do vigor vegetativo, bem como das características biofísicas dos cafeeiros, principalmente para a altura e os diâmetros inferior e superior da copa dos cafeeiros.

O NDVI foi o índice de vegetação que apresentou a maior e a melhor correlação com as características altura, diâmetro inferior, diâmetro superior, área

superior e volume da copa, seguido pelos índices NDRE e GLI.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa WTM-Engenharia de Precisão, pela realização do voo e por ter cedido o ortomosaico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G.; HOTT, M. C.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P.; OLIVEIRA, P. S. de; OLIVEIRA, J. S. e Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) no monitoramento dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho. In: SILVA, H. C da (Org.) **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Ponta Grossa, PR: Antena Editora, 2019, p. 225-234.

Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209340/1/Cap-21-Ebook-EngSanitAmb-Ricardo.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

BATISTA, J. K. L. **Caracterização e mapeamento das lavouras de café no Ifes campus de Alegre (2003/2017)**. 2018. 51 f TCC (Graduação em Tecnologia em Cafeicultura) - Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018. Disponível em: <<http://biblioteca.ifes.edu.br:8080/pergamumweb/vinculos/000014/000014b9.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

BLOSFELD, L. H. **Correlação linear entre os índices de vegetação NDVI e NDRE com a produtividade do milho segunda safra**. 2019. 38 f TCC

(Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2019. Disponível em: <[https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/1283/1/TCC-2018-](https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/1283/1/TCC-2018-LETYCIA%20HASS%20BLOSFELD%20.pdf)

LETYCIA%20HASS%20BLOSFELD%20.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2020.

BRAZ, A. M.; DE ANDRADE ÁGUAS, T.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria–MS. **Revista Percursos**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015. Acesso em: 13 jan. 2021.

Disponível em:

<<http://186.233.154.236/ojs/index.php/Percurso/article/view/28758>>.

BUSCHMANN, C.; E.

NAGEL Espectroscopia in vivo e óptica interna das folhas como base para sensoriamento remoto da vegetação, **International Journal of Remote Sensing**, 14:4, 711-722, 1993. DOI: 10.1080/01431169308908904370

CHAVES, M. E. D.; LÁZARO, A. da S.; NASSUR, O. A. C.; CONCIÇÃO, F. G. da Estimativa da Fração de Cobertura Vegetal para o ano de 2010 em Minas Gerais a partir do NDVI gerado pelos sensores MODIS e VEGETATION-2. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013. Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Michel_Chaves2/publication/308880944_Estimativa_da_Fracao_de_Cobertura_Vegetal_para_o_ano_de_2010_em_Minas_Gerais_a_partir_do_NDVI_gerado pelos sensores MODIS e VEGETATION-2/links/57f4205908ae91deaa5ad666/Estimativa-da-Fracao-de-Cobertura-Vegetal-para-o-ano-de-2010-em-Minas-Gerais-a-partir-do-NDVI-gerado-pelos-sensores-MODIS-e-VEGETATION-2.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira, café**: quarto

levantamento, Dezembro/2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 04 jan. 2021.

DAMIAN, J. M.; FORNARI, M.; SANTI, A. L.; PIAS, O. H. de C.; SILVA, D. A. A. da; FONSECA, A. Z. da; BELLO, R. A. M. D. RONTANI, F. A. O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) na agricultura. In: SANTI, A. L. (Org.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CESPOL 2016. p. 285-309. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/52/6/2019/01/AP_RS.pdf. Acesso em: 18 fev. 2021.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. **InfoStat, versão gratuita**. Universidad Nacional de Córdoba, 2011. Disponível em: <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>. Acesso em: 10 jul. 2019.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)*. **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n.3, p. 115-146, 2009. Acesso em: 11 fev. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dalson_Figueiredo2/publication/290157754_Desvendando_os_Misterios_do_Coeficiente_de_Correlacao_de_Pearson_r/links/5944226baca2722db49d1079/Desvendando-os-Misterios-do-Coeficiente-de-Correlacao-de-Pearson-r.pdf.

FURLANETTO, R. H.; NANNI, M. R.; CRUSIOL, L. G. T.; SILVA, G. F. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In:

JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 12., 2017, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2017. p. 146-154., 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1072792/1/146.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2021.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v.80, p.76-87, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701002899>. Acesso em: 03 jan. 2020.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHAES JUNIOR, W. C. P. de; BENITES, F. R. G. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para estimativa de vigor e de correlações agronômicas em genótipos de capim Cynodon. **Embrapa Gado de Leite-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2019.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília-DF, pp. 21-33, 2014.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas: Alegre – ES**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 14 dez. 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos**

terrestres. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/367713/mod_resource/content/1/Sensoreamento%20Remoto%20do%20Ambiente%20-%20Cap%C3%ADtulo%201.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2020.

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

LIM SOON, E.; ISMAIL, R.; HASHIM, W.; BAHARUM, A. The use of VARI, GLI, and VIGREEN formulas in detecting vegetation in aerial images. **International Journal of Technology**, v. 10, n. 7, p. 1385–1394, 2019. Acesso em: 10 jan. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337624007_The_Use_of_VARI_GLI_and_VIgreen_Formulas_in_Detecting_Vegetation_In_aerial_Images.

LIMA, J. S. de S.; SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R. B.; CÉCILO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade mensal da precipitação mensal de Alegre-ES. **Revista Agrônômica**, v. 39, n.2, p.327-332, 2008. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/cca_revista/article/view/67/63>. Acesso em: 25 nov. 2019.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Oficina de Textos, 2015.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for

documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**. v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001. Acesso em: 10 jan. 2021. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106040108542184>>.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café no Brasil**, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: 04 jan. 2021.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, ALMEIDA; GARCIA. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações.** Fundação Procafé, 2 ed., 2020

PIMENTEL GOMES. **Curso de Estatística Experimental.** São Paulo: Nobel, 2009.

RENNER, L.; SILVA, T. ; MENDES JÚNIOR, C. W.; WILBBELLING, R. Desenvolvimento e montagem de VANT de asa fixa de baixo custo para suprir a demanda de ensino e pesquisa nas áreas de Geociências. **Terrae Didática**, v. 16, p. e020002-e020002, 2020.

SHERMAN, E.G. *et al.* **Sistema de Informações Geográficas do QGIS.** Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. 2018. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SILVA, V. O.; FERRARI, J. L.; OLIVEIRA, J. P. B.; MELLO, G. M.; VEIGA, Y. F. Q. Mapeamento das lavouras de café do Ifes-Campus de Alegre com o uso de drones. In: IV Jornada de Integração do Ifes: XV Jornada de

Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ifes, 2020, Vitória, ES. **Anais...** IV Jornada de Integração do Ifes: XV Jornada de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ifes. Vitória, ES: Ifes, 2020.

SOUZA, J. B. C.; DE BRITO FILHO, A. L.; CARNEIRO, F. M.; DO SANTOS, A. F.; DA SILVA, R. P. Avaliação da qualidade dos índices (NDRE e NDVI) para a cultura do amendoim, utilizando cartas de controle. *South American Sciences*, n. 1, v. 1, e2095, 2020.

TAIPALE, E, S. **NDVI vs. NDRE: What's the Difference?** (2018). Disponível em: < <https://sentera.com/ndvi-vs-ndre-whats-difference/> >. Acesso em: 13 jan. 2021.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782002000100027&script=sci_arttext >. Acesso em: 04 jan. 2021.