

PABLO HENRIQUE DE SOUZA ASSIS

**ESTRATÉGIAS PARA O MONITORAMENTO DO DESEMPENHO
AGRONÔMICO EM VEGETAIS A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS
DIGITAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade
Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte
das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

Coorientador

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

MONTE CARMELO
MINAS GERAIS – BRASIL

2022

PABLO HENRIQUE DE SOUZA ASSIS

Estratégias para o monitoramento do desempenho agrônômico em vegetais a partir de imagens aéreas digitais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Banca examinadora

Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira	(UFTM)
Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel	(UFU)
Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis	(UFU)

RODRIGO BEZERRA DE ARAÚJO GALLIS
IG - INSTITUTO DE GEOGRAFIA (UFU)

MONTE CARMELO
MINAS GERAIS – BRASIL

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A848 Assis, Pablo Henrique de Souza, 1997-
2022 Estratégias para o monitoramento do desempenho
agronômico em vegetais a partir de imagens aéreas
digitais [recurso eletrônico] / Pablo Henrique de Souza
Assis. - 2022.

Orientador: Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis.
Coorientador: Gabriel Mascarenhas Maciel.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações
Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.214>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Gallis, Rodrigo Bezerra de Araujo,
1977-, (Orient.). II. Maciel, Gabriel Mascarenhas, 1986-
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.
IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações
 Geoespaciais

Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000
 Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	18/04/2022	Hora de início:	19:00	Hora de encerramento:	21:50
Matrícula do Discente:	32012AIG019				
Nome do Discente:	Pablo Henrique de Souza Assis				
Título do Trabalho:	Estratégias para Monitoramento do Desempenho Agrônomo em Vegetais a partir de Imagens Aéreas Digitais				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento e aplicações de métodos em informações geoespaciais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Utilização de imagens multiespectrais na fitotecnia				

Reuniu-se na sala virtual <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/rodrigo-bezerra-de-araujo-gallis>, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação assim composta: Professores Doutores: Gabriel Mascarenhas Maciel (UFU), Ricardo Vicente Ferreira (UFTM) e Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/04/2022, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento



no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Vicente Ferreira, Usuário Externo**, em 19/04/2022, às 14:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Mascarenhas Maciel, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/04/2022, às 15:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3527274** e o código CRC **54F33A05**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado e abençoado com saúde, fé, foco e força para superar todos os empecilhos, obstáculos e desafios.

Agradeço aos meus pais Francisco e Mara por sempre me motivarem com os estudos e me ajudarem a chegar aonde estou agora.

Agradeço a Aline pelo companheirismo em situações boas e nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio e contribuição para seguir em frente com este trabalho.

Aos docentes Prof. Dr. Gabriel Maciel, Prof. Dr. José Magno e Prof.^a Dr.^a Ana Carolina pela grande contribuição e colaboração para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a Ana Luísa pela amizade, competência e muito auxílio para o desenvolvimento deste trabalho.

Além destes, um agradecimento em especial ao Prof. Dr. Rodrigo Gallis, docente responsável pela orientação do trabalho com total competência, paciência, dedicação e apoio.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia pela estrutura, suporte e ambiente amigável oferecido.

BIOGRAFIA

Pablo Henrique de Souza Assis nasceu no dia 30 de junho de 1997 em Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU (2019). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais - UFU (2020 - 2022), com foco em fenotipagem e monitoramento do desempenho agrônômico de culturas através de imagens aéreas digitais.

SUMÁRIO

RESUMO	i
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. ESTRATÉGIAS PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM ALFACE A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS DIGITAIS	2
RESUMO	2
INTRODUÇÃO.....	3
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
Localização e delineamento experimental	4
Fluxograma experimental	5
Processamento digital dos dados	6
Análise Estatística	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
CONCLUSÃO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM BATATA SUBMETIDA A COMBINAÇÕES DE COMPOSTO MINERAL E ORGÂNICO.....	18
RESUMO	18
INTRODUÇÃO.....	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
Localização e delineamento experimental	20
Fluxograma experimental	22
Processamento digital dos dados	23
Análise Estatística	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
3. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E VARIÁVEIS DE CAMPO NO MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM MELANCIA	35
RESUMO	35
INTRODUÇÃO.....	36
MATERIAL E MÉTODOS.....	37
Fluxograma experimental	38
Processamento digital dos dados	39
Análise Estatística	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

ASSIS, PABLO HENRIQUE DE SOUZA. Estratégias para o monitoramento do desempenho agrônomo em vegetais a partir de imagens aéreas digitais. 2022, 34 páginas. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

A agricultura é um dos grandes polos de influência na economia mundial. Fatores como a competitividade, redução de custos, aumento da qualidade do produto, lucratividade e sustentabilidade são as variáveis mais visadas entre os produtores e indústrias. Assim, diversos estudos trouxeram técnicas mais modernas que aceleram os processos de produtividade e qualidade através da fenotipagem em larga escala a partir de imagens aéreas digitais. Deste modo, o sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta de suma importância para a tomada de decisão. O mesmo conta com uma série de processamentos digitais que servem como base para diversos estudos na agricultura. Contudo, há poucos estudos que associam esses dados de imagens aéreas a variáveis agrônomicas de campo em hortaliças. Diante disso, este trabalho teve por objetivo mostrar o potencial dos índices de vegetação provenientes das imagens aéreas no monitoramento do desempenho agrônomo de três culturas distintas: alface, batata e melancia. Através de análises estatísticas básicas, processamento digital de imagens e estatística multivariada, os índices de vegetação NGRDI, NDVI, GLI, TGI e SAVI utilizados neste estudo foram eficazes em monitorar o desempenho agrônomo das culturas estudadas. Concluiu-se que os índices de vegetação têm potencial para se correlacionar com diversas variáveis respostas de campo e que foi possível monitorar o desempenho agrônomo da alface, batata e melancia neste trabalho.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L; *Solanum tuberosum* L; *Citrullus lanatus* L; fenotipagem por imagem; índices de vegetação; hortaliças.

ABSTRACT

ASSIS, PABLO HENRIQUE DE SOUZA. Strategies for agronomic performance monitoring in vegetables from digital aerial images. 2022, 34 pages. Thesis (Master's program in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

Agriculture is one of the great poles of influence in the world economy. Factors such as competitiveness, cost reduction, increased product quality, profitability and sustainability are the most targeted variables among producers and industries. Thus, several studies have brought more modern techniques that accelerate productivity and quality processes through large-scale phenotyping from digital aerial images. This way, remote sensing proves to be a very important tool for decision making. It has a series of digital processing that serve as a basis for several studies in agriculture. However, there are few studies that associate these aerial image data with field agronomic variables in vegetables. Thus, this study aimed to show the potential of vegetation indices from aerial images in monitoring the agronomic performance of three different crops: lettuce, potato and watermelon. Through basic statistical analysis, digital image processing and multivariate statistics, the vegetation indices NGRDI, NDVI, GLI, TGI and SAVI used in this study were effective in monitoring the agronomic performance of the crops studied. It was concluded that vegetation indices have the potential to correlate with several variables field responses and that it was possible to monitor the agronomic performance of lettuce, potato and watermelon in this study.

Keywords: *Lactuca sativa* L; *Solanum tuberosum* L; *Citrullus lanatus* L; image phenotyping; vegetation indices; vegetables.

INTRODUÇÃO GERAL

Considerando-se que a agricultura é uma das práticas mais antigas de transformação do espaço geográfico para fins de sobrevivência e atualmente um dos grandes pilares da economia no país, a competitividade para redução de custos, aumento da qualidade do produto e da lucratividade estão entre os parâmetros mais visados no mercado (COOK et al., 2021; HAN et al., 2021). Adicionalmente, o aumento populacional trouxe maior demanda por produtos agrícolas e estima-se um aumento médio de 50% na produção das principais culturas alimentares para suprir tal demanda nos próximos anos (HERMANN et al., 2019).

Com isso, o melhoramento no rendimento e qualidade das cultivares se tornam de suma importância (OLIVEIRA et al., 2020). Para encarar tais desafios, os programas de melhoramento genético de plantas precisam ampliar a base genética de prospecção e buscar por meios mais eficientes para a mensuração de novas características fenotípicas (SOUSA et al., 2015). Para tanto, uma série de estudos trouxeram técnicas modernas de fenotipagem a partir da espectroscopia de imagens aéreas digitais (MACIEL et al., 2019; CLEMENTE et al., 2021; BELOTI et al., 2020).

A aplicação dessas técnicas de fenotipagem por imagem constitui plataformas que captam através do sensoriamento remoto, imagens de diversas regiões do espectro eletromagnético que servem como base para o cálculo de índices de vegetação, teores de pigmento, medições de temperatura entre outros (SOUSA et al., 2015). Estes dados são correlacionáveis com informações de campo das culturas, utilizando-se uma metodologia não destrutiva e servindo de base para a tomada de decisão (HE et al., 2016; SANTOS et al., 2020; MACIEL et al., 2020; CLEMENTE et al., 2021).

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar e validar a potencialidade dos índices de vegetação em três culturas distintas: alface, batata e melancia. Cada qual com suas características e parâmetros específicos, afim de mostrar que os índices de vegetação apresentam bom desempenho e servem de ferramenta base para a tomada de decisão em muitas culturas sob situações e condições diversas.

1. ESTRATÉGIAS PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM ALFACE A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS DIGITAIS

RESUMO

A cultura da alface (*Lactuca Sativa* L.) é considerada uma das folhosas mais consumidas no país, sendo uma das hortaliças presente na mesa de milhares de pessoas. Além das características nutricionais e agronômicas da cultura, programas de melhoramento buscam a biofortificação genética da alface com altos valores de carotenoides e seleção de genótipos com melhor desempenho. As análises realizadas e os custos para a seleção de genótipos são problemas enfrentados pelos melhoristas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agronômico em genótipos de alface verde. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia – campus Monte Carmelo. Foi utilizada uma aeronave modelo Phantom 4 Pro para aquisição dos dados. Os índices NGRDI, TGI e GLI apresentaram correlações significativas com a variável massa verde. O modelo estimador foi gerado a partir das componentes principais entre esses índices, de correlação $r = 0,815$; coeficiente de determinação $R^2 = 0,665$ e $RMSE = 18,79$. Houve variabilidade significativa entre os blocos e parcelas sendo possível discriminar, por meio dos índices de vegetação, genótipos que apresentaram baixo e alto desempenho agronômico em relação à massa verde. A partir das técnicas de sensoriamento remoto foi possível obter resultados acreditados de forma indireta e não destrutível.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L; fenotipagem por imagem; índices de vegetação.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca Sativa* L.) é considerada uma das hortaliças mais populares e consumidas no país. A produção brasileira média dessa cultura é de 525,6 mil toneladas. O estado de São Paulo responde por 31% da produção, seguido por Rio de Janeiro (27%) e Minas Gerais (7%) (CONAB, 2020). Existem vários tipos de variedades e segmentos da cultura com colorações, texturas e formatos diferentes (FU et al., 2017). Em função do consumo ser realizado na forma *in natura*, mais nutrientes são retidos em comparação a outros vegetais que são cozidos ou processados (KIM et al., 2016).

Dentre seus benefícios, pode-se ressaltar a presença do alto teor de fibras, vitaminas e compostos minerais que apresentam ação antioxidante e estão diretamente associados a pesquisas para tratamento e prevenção de doenças crônicas e cardiovasculares (FU et al., 2017). Adicionalmente, uma série de pesquisas buscam selecionar alfaces com elevado teor de carotenoides para caracterizar sua biofortificação (CLEMENTE et al., 2021; MACIEL et al., 2019).

Para tal objetivo, técnicas de fenotipagem buscando o melhoramento de algumas características fenotípicas das culturas tais como massa verde, área foliar, teor de clorofila, desempenho agrônômico, entre outras, vem sendo bastante utilizada no século vigente (TAIRUM, 2020). Entende-se por fenotipagem clássica de plantas como resultante do fenótipo, que define valores qualitativos e quantitativos para distinguir os genótipos e selecioná-los no ambiente. As análises são feitas de forma tradicional com alta demanda de mão de obra, maior tempo e custo (DHONDT, 2013). A busca por rapidez nos programas de melhoramento genético e técnicas complexas para seleção de genótipos em alta escala está cada vez mais frequente. Para tanto, tem-se priorizado a busca por análises óticas não-destrutivas em vegetais (TAIRUM, 2020).

Pesquisas vem sendo desenvolvidas para estimar os parâmetros fenotípicos associando dados coletados a campo e índices de vegetação (BELOTI et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Desde as últimas décadas o sensoriamento remoto vem crescendo com o interesse de utilizar os dados de refletância para extrair variáveis agrícolas e monitorar o campo (PÔÇAS et al., 2020).

A aplicação dessas técnicas de fenotipagem por imagem constitui plataformas que capturam imagens do RGB (red, blue, green), infravermelho-próximo (NIR), regiões termiais, entre outras bandas, para cálculo de índices de vegetação, teores de pigmento, localização de metabolitos nas plantas e medições de temperatura (SOUSA et al., 2015). A utilização de imagens da câmera RGB para a fenotipagem de imagem se mostrou eficiente para a detecção

de diferentes níveis de carotenoides na cultura da alface (MACIEL et al., 2019). Há relatos em pesquisas com a informação da capacidade de correlacionar e estimar o desenvolvimento vegetativo por meio do vínculo entre imagens digitais e dados de campo em diversas culturas (NGUY-ROBERTSON et al., 2012; MONTEIRO et al., 2013; HE et al., 2016; CLEMENTE et al., 2021). Contudo, são poucas as pesquisas que correlacionam dados de campo com técnicas de sensoriamento remoto para estudos na cultura da alface.

Diante disto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agrônômico em genótipos de alface verde.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e delineamento experimental

Os dados da pesquisa foram obtidos em experimento realizado na Estação Experimental de Hortaliças da UFU no município de Monte Carmelo-MG, Brasil, com geolocalização a latitude de 18°42'43" S e longitude 47°29'58" O e altitude 868 m (Figura 1).

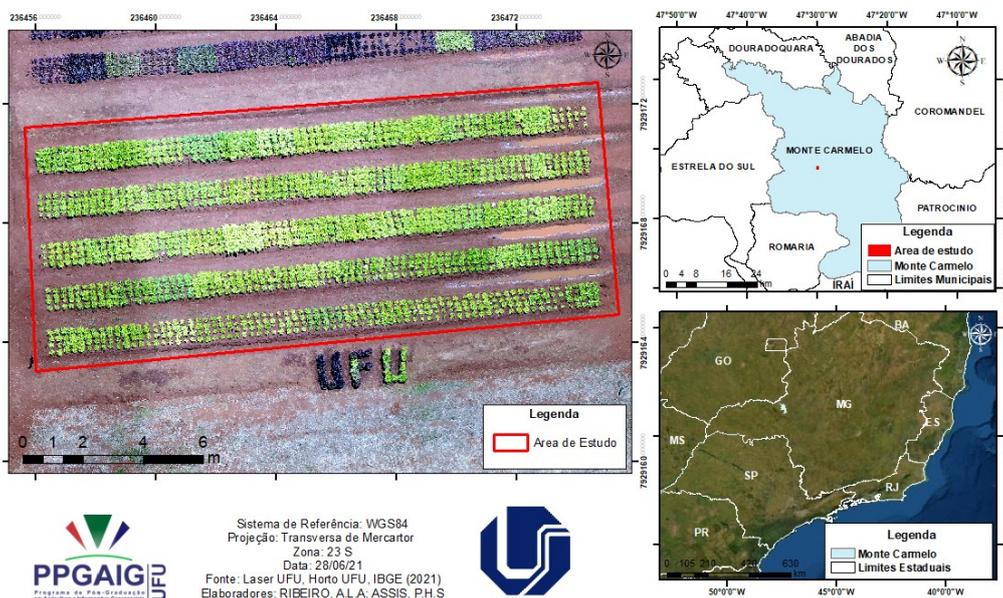


FIGURA 1. Mapa de localização da região de estudo.

Para este estudo foram avaliados vinte e cinco genótipos de alfaces verde pertencentes ao banco de germoplasmas de alfaces biofortificadas da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A semeadura foi feita em bandejas de poliestireno com substrato comercial a base de fibra de côco. Após as mudas apresentarem quatro folhas definitivas foram transplantadas para

os canteiros definitivos. O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados (DBC) com três repetições, totalizando-se 75 parcelas (Figura 2).



FIGURA 2. Distribuição dos genótipos de alface verde no campo. 1:UFU-206#1#6#1;2:UFU BIOFORT189E8; 3: UFU-197#3#1#1; 4: UFU-125#1#1#1; 5:UFU-7#1#2#1; 6: UFU BIOFORT155E12; 7: UFU BIOFORT120E21;8: UFU BIOFORT189E22;9:UFU-197#2#1#1; 10: UFU-199#3#1#1; 11: UFU-206#1#1#1;12: UFU BIOFORT206E32; 13:UFU BIOFORT197E34; 14:UFU-197#2#2#1; 15: UFU BIOFORT155E39; 16: UFU BIOFORT189E43; 17: UFU-206#1#4#1; 18: UFU-125#2#2#1; 19: UFU-206#1#2#1; 20: UFU BIOFORT189E48; 21: UFU-206#1#5#1; 22: UFU-040#5#5#1; 23: UFU MC BIOFORT; 24: Grand Rapids; 25: Uberlândia 10000.

Fluxograma Experimental

Os procedimentos metodológicos executados no trabalho estão apresentados no fluxograma da Figura 3.

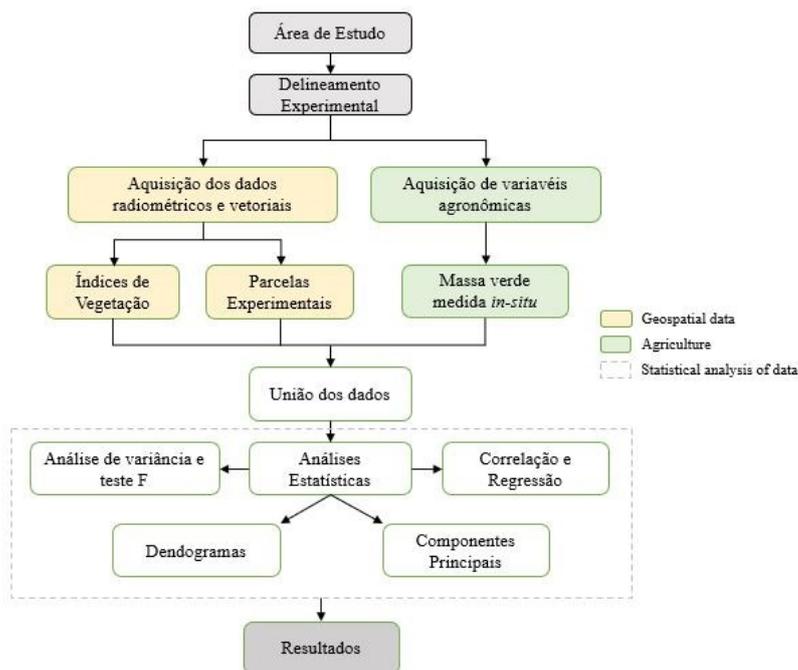


FIGURA 3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

No processo de aquisição de dados, a variável agrônômica massa verde (g) foi adquirida trinta e seis dias após o transplântio (DAT) a partir da coleta de seis plantas centrais, obtendo-se assim a média de cada parcela. Para a aquisição dos dados aéreos, realizou-se um voo trinta e sete dias após o transplântio (DAT) antes da avaliação agrônômica destrutível, a partir de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) modelo Phantom 4 Pro com câmera RGB de resolução 20 megapixels. O voo foi realizado de forma autônoma pelo software DroneDeploy a uma altura de vinte metros, com sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 75% e GSD = 1,5 cm/pixel.

Processamento Digital dos Dados

Para este estudo, o ortomosaico proveniente das imagens aéreas foi gerado no software Pix4d Mapper. Para este estudo foram utilizados os índices de vegetação (IV's) apresentados na Tabela 1:

TABELA 1. Índices de vegetação utilizados no experimento.

Índice	Equação	Referência
TGI- Triangular Greenness Index	$G - 0.39 * R - 0.61 * B$	Hunt Jr et al. (2011)
GLI-Green Leaf Index	$\frac{(2 \times G - R - B)}{(2 \times G + R + B)}$	Gitelson et al. (2002)
NGRDI- Normalized Green Red Difference Index	$\frac{G - R}{G + R}$	Tucker (1979)

G= green band; R = red band; B= blue band

Os valores de radiometria dos índices foram calculados e extraídos para cada parcela experimental através do software ENVI Classic. Em seguida, os valores foram integrados aos dados vetoriais das parcelas experimentais que estão em formato *shapefile* e unificados com as informações de campo a uma planilha .xls via software MiniTab 18. Para as análises de espacialização, associação e classificação de dados geográficos utilizou-se os softwares ENVI Classic e ArcMap 10.5.

Análise Estatística

Com intuito de avaliar a existência ou não de uma relação significativa entre os índices de vegetação e a massa verde em cada uma das 75 parcelas, realizou-se o teste de correlação de Pearson. Para evitar-se a colinearidade de informações no processo de análises estatísticas, foi computado o cálculo das componentes principais de modo a se obter uma banda com informações de alta variabilidade objetivando uma resposta significativa para a correlação dos dados de campo com as informações espectrais das imagens e índices vegetativos. Por fim, foi elaborado um modelo estimador através da regressão estatística que descreve o comportamento da variável massa verde sobre a região de estudo. Para validar o modelo, foi tomada uma amostra de 20 valores da região central dos dados como verdade de campo e calculada a raiz do erro médio quadrático *Root Mean Squared Error* (RMSE) conforme equação 1:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_o - X_e)^2}{n}} \quad (1)$$

Os dados foram submetidos à análise multivariada com o objetivo de determinar a dissimilaridade genética entre os genótipos. A matriz de dissimilaridade foi obtida pela matriz de distância genética de Mahalanobis (D2ii) e a partir dessa matriz a divergência genética foi representada por um dendrograma obtido pelo método *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* (UPGMA), validado pelo coeficiente de correlação cofenética. As análises multivariadas foram realizadas no software Genes v.2015.5.0 (CRUZ et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após avaliação dos resultados obtidos referente aos índices de vegetação pode-se varificar a variabilidade de valores definidas em cinco classes (Figura 4).

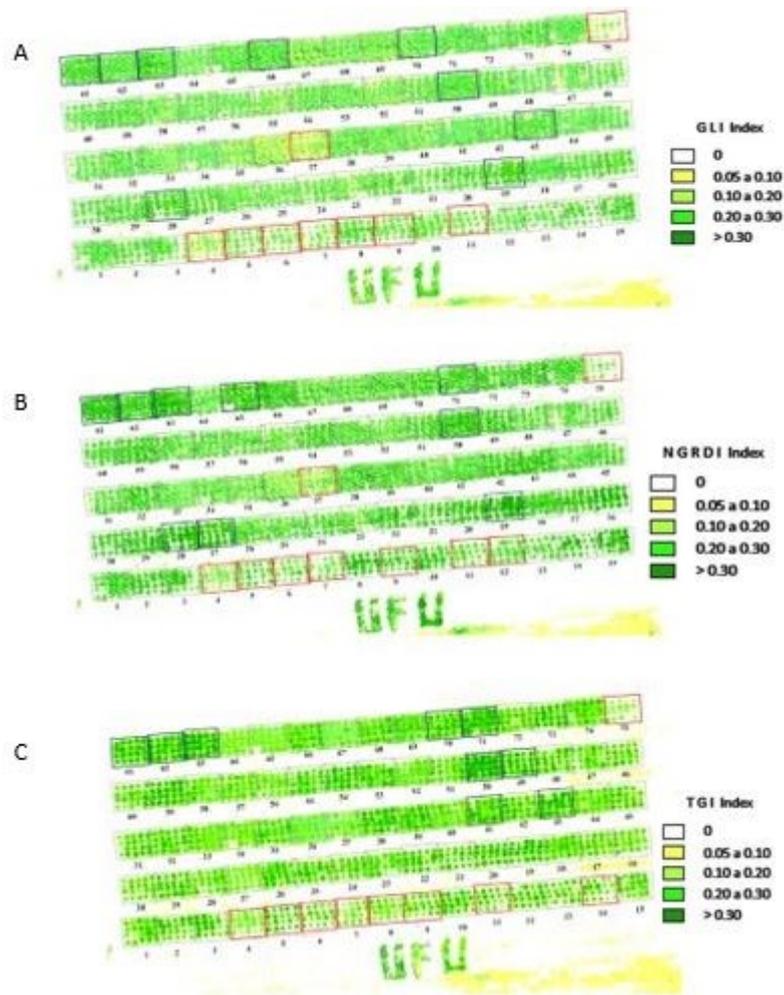


FIGURA 4. Índices de vegetação na região de estudo. A – Green Leaf Index (GLI); B – Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) e C – Triangular Greenness Index (TGI).

A tonalidade branca indica ausência de vegetação e os tons mais escuros de verde, maior vigor vegetativo. Através da análise visual, pode-se verificar que os índices GLI, NGRDI e TGI foram capazes de expressar em mesma magnitude a variabilidade presente nas parcelas de forma eficiente. As regiões destacadas em vermelho apresentam parcelas no qual o valor médio dos pixels foi menor. Vale ressaltar que tais valores estão concentrados sucessivamente em uma mesma linha de plantio na região inferior da área de estudo. Logo, esse comportamento pode ter influência de outros fatores como a baixa concentração de nutrientes ou presença de água no solo nesta região. Em contrapartida, as regiões de contorno azul destacam as parcelas onde o valor médio dos pixels foi maior (Figura 4).

O cálculo dos índices de vegetação é realizado por combinações matemáticas dos valores da reflectância (FORMAGGIO e SANCHES, 2017), que tem por objetivo avaliar e caracterizar a cobertura vegetal, sendo que estes dados, por sua vez, são associados às

características fisiológicas das plantas (PEZZOPANE et al., 2019). Diante disso, buscou-se verificar a existência ou não da relação entre os valores espectrais dos índices de vegetação com a variável massa verde (g) mensurada *in loco* por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (Figura 5).

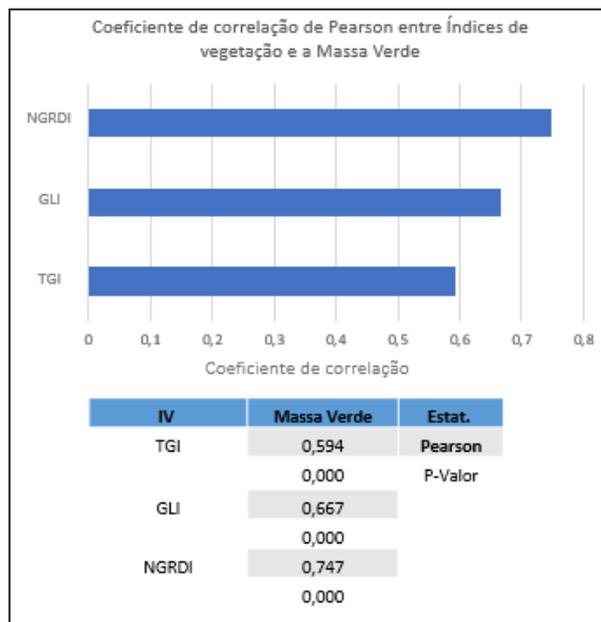


FIGURA 5. Coeficiente de correlação de Pearson e P-valor entre os índices de vegetação e a massa verde dos genótipos de alface.

Houve correlação significativa para as variáveis respostas em estudo (Figura 5). Tal afirmação pode ser validada observando-se o baixo p-valor (nível de significância, considerando-se $p < 0.05$) evidenciado em todas as correlações realizadas. Em termos de valor absoluto, o índice NGRDI obteve o desempenho mais expressivo do coeficiente de correlação ($r = 0,747$). Contudo, os índices de vegetação que têm como objetivo em comum caracterizar a cobertura vegetal, também podem apresentar características únicas entre si (JENSEN, 2009; NOVO, 2010; FORMAGGIO & SANCHES, 2017). Diante disso, foi realizado o cálculo dos componentes principais (CP) entre todos os índices evitando-se assim a colinearidade entre os dados e retornando um valor resposta apenas com a variabilidade presente (Tabela 2):

TABELA 2. Componentes principais em relação as variáveis respostas (NGRDI), (TGI) e (GLI) – (autovetores e autovalores da matriz de correlação).

Autovalores e autovetores da matriz de correlação: CP's & IVs			
Autovalor	2,031	0,557	0,411
Proporção	0,667	0,186	0,137
Acumulado	0,667	0,863	1,000
	CP1	CP2	CP3

CP1 = componente principal 1; CP2 = componente principal 2; CP3 = componente principal 3.

Para selecionar os componentes principais que explicam a maior parte da variação dos dados, considera-se valores ($\lambda_i > 1$), isto é, autovalores provenientes do cálculo das CP's que sejam superiores a 1 são considerados os mais significativos (KAISER 1958). Deste modo, dentre as três componentes resultantes da Tabela 2, apenas a CP1 apresentou valor superior a 1 dos autovalores da matriz de correlação ($\lambda_1 = 2,0311$). Isto implica dizer que conforme o critério Kaiser, acredita-se que o CP1 contenha uma quantidade significativa da variabilidade desejada nos dados. Calculando o coeficiente de correlação de Pearson entre CP1 e a massa verde, obteve-se o valor $r = 0,815$ sendo este, um resultado superior às correlações individuais entre os índices de vegetação TGI, NGRDI e GLI apresentados anteriormente na Figura 5.

Assim, para estimar um modelo que demonstre o comportamento da variação da massa verde na região de estudo, foi calculado uma regressão simples entre a CP1 e os valores de massa verde obtidas em campo (Figura 6):

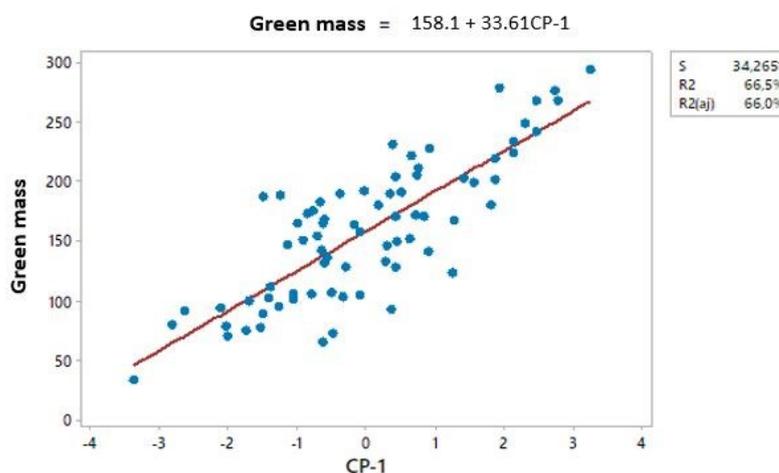


FIGURA 6. Gráfico de linha ajustada e equação modelo entre as variáveis massa verde e CP1.

O modelo gerado entre a variável massa verde e os componentes principais apresentaram comportamento linear ($R^2 = 0,665$) ou seja, a equação consegue explicar 66,5% dos dados observados. O modelo apresentou um RMSE = 18,79 e RMSE (%) = 14,52 indicativo da capacidade em conseguir estimar os dados de forma significativa. Os resultados da análise

de variância detectaram diferença significativa entre os blocos em relação a variável massa verde considerando-se um nível de significância ($p < 0,05$).

Em sua pesquisa, Deghaid et al. (2014) obtiveram uma correlação entre o NDVI e a massa verde de 0,562 na cultura do amendoim. Silva et al. (2020) estimaram o teor de clorofila do Manguê da Baía de Vitória (ES) por meio de dados hiperespectrais e modelos de regressão gerando resultados com importantes valores para coeficientes de determinação ($R^2 = 0,72$ e $0,77$). Oliveira et al. (2019) estimaram a área foliar na cultura da alface correlacionando dados de um espectrorradiômetro com informações de campo obtendo um coeficiente de determinação superior a 95% ($R^2 = 0,957$). Vale ressaltar que a eficiência acima de 95% obtida é justificada pelo fato do uso de equipamentos de alto valor capaz de proporcionar alta qualidade na aquisição dos dados. Todavia, o presente trabalho adotou uma metodologia de custo menos onerosa e mesmo diante tais limitações atingiu resultados significativos.

A equação obtida na Figura 6 submetida ao software ENVI gerou como resultado uma imagem com a distribuição estimada da massa verde na região de estudo (Figura 7).

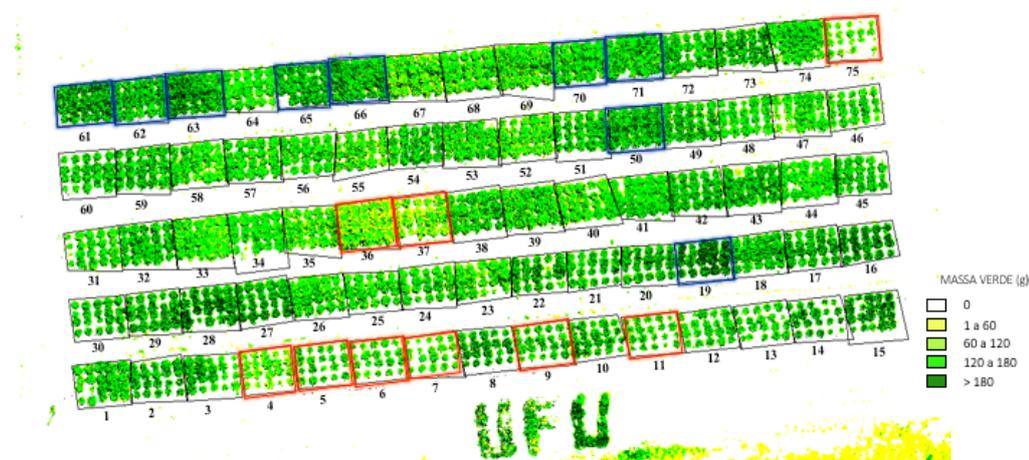


FIGURA 7. Comportamento da massa verde estimada sobre as parcelas experimentais variando entre 0 à 180 gramas.

O mapa da distribuição da massa verde foi estimada à uma precisão de 66,5% na área de estudo (Figura 7). Para esta representação também foi utilizado uma metodologia de classificação baseada em cinco tonalidades no qual a cor branca representa ausência de massa verde e as tonalidades degradê em verde apontam o aumento da massa verde nas parcelas. Este produto também conseguiu destacar tratamentos que apresentaram melhor desempenho em termos de massa verde (contorno azul) em relação aos tratamentos que apresentaram desempenho inferiores (contorno vermelho).

As sete parcelas que apresentaram baixo desempenho em termos de vigor vegetativo

detectadas tanto pelos índices de vegetação e mapa da massa verde estimada quanto pelos valores coletados em campo estão apresentadas na Tabela 3. Pode-se verificar que sete genótipos diferentes foram detectados e classificados com baixo desempenho.

TABELA 3. Parcelas que apresentaram baixo desempenho estimado pelos índices de vegetação e por valores de massa verde coletados no campo.

Baixo desempenho - Massa verde estimada		
Parcela	Genótipo	Tratamento
4	UFU-040#5#5#1	22
5	UFU BIOFORT189E22	8
6	UFU-206#1#5#1	21
7	UFU BIOFORT155E39	15
9	UFU-197#2#2#1	14
11	UFU BIOFORT189E48	20
75	UFU BIOFORT120E21	7
Baixo desempenho - Massa verde em campo		
Parcela	Genótipo	Tratamento
10	UFU BIOFORT189E8	2
5	UFU BIOFORT189E22	8
6	UFU-206#1#5#1	21
7	UFU BIOFORT155E39	15
9	UFU-197#2#2#1	14
11	UFU BIOFORT189E48	20
75	UFU BIOFORT120E21	7

Foi possível demonstrar que das sete parcelas estimadas para baixo desempenho, seis estavam presentes na seleção das parcelas de baixo desempenho a partir de valores coletados em campo. Assim, os índices de vegetação mostraram-se eficientes na detecção de regiões com baixo vigor.

As sete parcelas mais significativas em termos de massa verde estimadas pelo índice de vegetação e pelos valores obtidos em campos estão apresentadas na Tabela 4. Quatro destas parcelas estiveram presentes em ambas as seleções demonstrando a possibilidade em selecionar e classificar genótipos de alto vigor por ferramentas de fenotipagem por imagem.

TABELA 4. Parcelas que apresentaram alto desempenho estimado pelos índices de vegetação e por valores de massa verde coletados no campo.

Alto desempenho - Massa verde estimada		
Parcela	Genótipo	Tratamento
61	UFU BIOFORT189E43	16
62	UFU-125#2#2#1	18
63	UFU BIOFORT189E22	13
28	UFU-199#3#1#1	12
41	UFU-206#1#1#1	11
70	UFU-206#1#6#1	1
71	UFU BIOFORT155E12	6

Alto desempenho - Massa verde em campo		
Parcela	Genótipo	Tratamento
68	UFU-206#1#4#1	17
69	UBERLANDIA 10000	25
70	UFU-206#1#6#1	1
63	UFU BIOFORT189E22	13
64	UFU-206#1#2#1	19
41	UFU-206#1#1#1	11
28	UFU-199#3#1#1	12

Os clusters formados a partir do dendrograma UPGMA (Figura 8) apresentaram coeficiente de correlação cofenética de 0,652 (teste t, $p < 0,05$). Deste modo, o dendrograma apresentou os dados matriciais e os clusters subsequentes com resultados significativos. A separação dos grupos deu-se por uma delimitação em uma linha de corte de 38%, fixada na região de incidência da mudança abrupta nas ramificações (CRUZ et al., 2012) presentes no dendrograma (Figura 8).

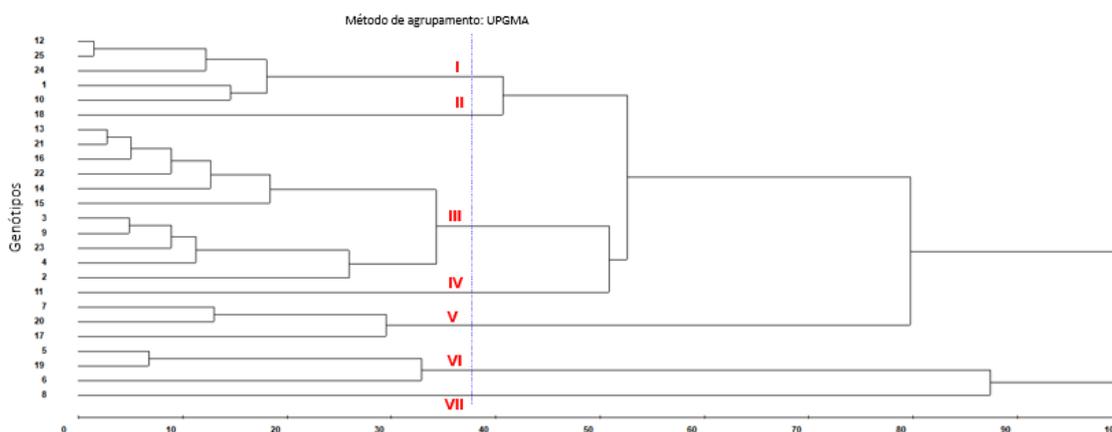


FIGURA 8. Dendrograma elaborado pelo método UPGMA apontando a variabilidade entre os 25 genótipos de alface verde e as variáveis respostas: (massa verde); GLI, TGI e NGRDI.

Deste modo, a linha de corte resultou em uma separação constituindo-se sete grupos distintos no qual o primeiro grupo compõe 20% dos genótipos, o segundo grupo compõe 4%, o terceiro grupo 44%, o quarto grupo 4%, o quinto grupo 12%, o sexto grupo 12% e o sétimo

grupo 4%.

Foi possível verificar que as diferentes análises estatísticas executadas no trabalho confirmaram a existência da variabilidade entre genótipos, blocos e parcelas experimentais além de apresentarem a relação de tais informações com a resposta espectral obtida de forma remota. Vale ressaltar que a resposta espectral emitida pela vegetação possui comportamentos que variam nas diferentes bandas do espectro eletromagnético (JENSEN, 2009), sendo destas, as regiões do visível e infravermelho próximo mais utilizadas para aplicações no meio agrícola (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Este estudo foi capaz de detectar a variabilidade e sua relação com características morfológicas medidas em campo por meio dos índices de vegetação do espectro da luz visível. O sensoriamento remoto multiespectral se mostra cada vez mais eficaz e vem sendo utilizado de forma significativa para agricultura de precisão na área de monitoramento de culturas (FORMAGGIO; SANCHES, 2017) sendo eficiente para a cultura da alface. Sugere-se que estas técnicas sejam utilizadas em programas de melhoramento genético, produtores rurais, empresas ou políticas públicas com intuito de monitorar o desempenho agrônômico de forma mais viável e não destrutível.

CONCLUSÃO

Os índices NGRDI, TGI e GLI apresentaram correlações significativas com a variável massa verde mesmo em germoplasma com alta variabilidade genética. É possível discriminar genótipos que apresentaram baixo e alto desempenho agrônômico em relação à massa verde a partir dos índices de vegetação NGRDI, TGI e GLI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. S.; GONÇALVES, L. M.; MARIN, D. B.; MACIEL, D. T.; FERRAZ, P. F. P.; ROSSI, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agronomy Research*, v.17, p.349–357, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>
- BELOTI, I.F.; MACIEL, G.M.; GALLIS, R.B.A.; FINZI, R.R.; CLEMENTE, A.A.; SIQUIEROLI, A.C.S.; JULIATTI, F.C. Low-altitude, high-resolution aerial imaging for field crop phenotyping in summer squash (*Cucurbita pepo*). *Genet. Mol. Res* 19(3), 2020. <https://doi.org/10.4238/gmr18598>

CLEMENTE, A.A.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A.C.S.; GALLIS, R.B.A; PEREIRA, L.M.; DUARTE, J.G. High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.103, p. 2-11, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102533>.

CONAB, **Boletim Hortigranjeiro**. v.6, n.2, 64p, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/boletimhortigranjeiro/download/pdf> . Acesso: set. 2021.

CRUZ C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p

DEGHAI, J.; ROSALEN, D.L.; ZERBATO, C.; FURLANI, C.E.A. Correlação entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e características agrônômicas da cultura do amendoim. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campo Grande-MS, 10p, 2014.

DHONDT, S.; WUYTS, N.; INZÉ, D. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. *Trends in Plant Science*, vol. 18, s.n. p. 428-439, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.008>

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. Sensoriamento Remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de textos, 2017. 288p.

FU, Y.; LI, H.Y.; YU, J.; LIU, H.; CAO, Z.; MANUKOVSKY, N.S. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.Var.youmaicai). *Scientia Horticulturae*, v. 214, p. 51-57, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>

GITELSON, A.A., KAUFMAN, Y.J., STARK, R., RUNDQUIST, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment* 80, 76–87.

HE, J.; QIN, Y.; GUO, C.; et al. Monitoring leaf area index after heading stage using hyperspectral remote sensing data in rice. In: *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1, anais, jul. 2016.

HUNT, E. R. EITEL, J.; DAUGHTRY, C.; LONG, D. Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Agronomy Journal*, [s.l.], v. 103, n. 4, p.1090-1099, maio 2011.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos campos: Parêntese, 2009. 598p.

JUNIOR, Altamar Lopes Pedreira et al. Efeito da Mudança da Cobertura em Parâmetros Biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 03, p. 1324-1334, 2020.

KAISER, H.F. *The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika*, v.23, n.3, p. 187-200, 1958.

KIM, M.J.; MOON, Y.; TOU, J.C.; MOU, B.; WATERLAND, N.L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v.49, p. 19-34, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. DE A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. Image phenotyping of inbred red lettuce lines with 27 genetic diversities regarding carotenoid levels. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 81, p. 154-160, (2019a). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos., 2015. 231 p.

MONTEIRO, P.F.C.; ANGULO FILHO, R.; XAVIER, A.C.; MONTEIRO, R.O.C. Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.4, p. 433-441, abr.2013.

NGUY-ROBERTSON, A.; GITELSON, A.; PENG, et al. Green leaf area index estimation in maize and soybean: combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy journal*, v.104, p.1336-1347, 2012.

OLIVEIRA, V. C. de et al. Agronomic biofortification of carrot with selenium. *Ciência e Agrotecnologia*, [s.l.], v. 42, n. 2, p.138-147, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422031217>.

OLIVEIRA, M.T.; SEIXA, H.T.; JUSTI, I.F.; OLDONI, L.V.; WIEDERKEHR, N.C.; MORAES, E.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; GALVÃO, L.S.; SANCHES, I.D. Relação entre índice de área foliar e índices de vegetação em *Lactuca Sativa* L. Anais... XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos – SP, p. 1635-1638, 2019.

PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; BOSI, C.; CRIPPA, P. H.; SANTOS, P. M.; NARDACHIONE, E. C. Assessment of Piatã palisadegrass forage mass in integrated livestock production systems using a proximal canopy reflectance sensor. *European Journal of Agronomy*, v. 103, p. 130-139, 2019

POÇAS, I.; CALERA, A.; CAMPOS, I.; CUNHA, M. Remote sensing for estimating and mapping single and basal crop coefficients: A review on spectral vegetation indices approaches. *Agricultural Water Management*, v.233, p. 1-17, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106081>

SANTOS, L.M.; FERRAZ, G.A.e.S.; BARBOSA, B.D.de.S.; DIOTTO, A.V.; MACIEL, D.T.; XAVIER, L.A.G. Biophysical parameters of coffee crop estimated by UAV RGB images. *Precision Agriculture*, v.21, p.1227-1241, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09716-4>

SILVA, E.D.O.; PASCOALINI, S.S.; ZAMPROGNO, G.C.; TOGNETTA, M.M.P. Estimativas do teor de clorofila do mangue da Baía de Vitória (ES) por meio de dados hiperespectrais. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.01, p. 131-142, 2020.

SOUSA, C.A.F.de.; CUNHA, B.A.D.B.da.; MARTINS, P.K.; MOLINARI, H.B.C.; KOBAYASHI, A.K.; JÚNIOR, M.T.S. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.8, n.4, p.660-672, 2015.

SUSANTORO, T. M.; WIKANTIKA, K.; HARTO, A. B.; SUWARDI, D. Monitoring sugarcane growth phases based on satellite image analysis (a case study in Indramayu and its Surrounding, West Java, Indonesia). *HAYATI Journal of Biosciences*, v.26, p.117-128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.26.3.117>

TAIRUM, R.C.C. Aplicabilidade de índices colorimétricos no melhoramento genético da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 87f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2020.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127–150, 1979

WAN, L. et al. Combining UAV-Based Vegetation Indices and Image Classification to Estimate Flower Number in Oilseed Rape. *Remote Sensing*, v. 10, n. 9, p. 1484, 2018

2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM BATATA SUBMETIDA A COMBINAÇÕES DE COMPOSTO MINERAL E ORGÂNICO

RESUMO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é considerada uma das principais hortaliças consumidas no país e no mundo. A dependência do uso de fertilizantes minerais tem prejudicado a rentabilidade dos produtores. A busca por novas alternativas capazes de promover maiores produtividades aliada a produção sustentável é meta geral nos cultivos agrícolas. O uso de índices de vegetação tem possibilitado maior agilidade e benefícios durante avaliação de experimentos em vegetais, sendo escassas informações na cultura da batata. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agronômico na cultura da batata submetida a diferentes combinações de composto mineral e orgânico. O experimento foi realizado na Fazenda Água Santa situada no município de Perdizes – MG, Brasil. Adotou-se delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas em quatro repetições/blocos, submetidas a adubação mineral e orgânica em cinco doses diferentes totalizando 25 tratamentos. As imagens foram adquiridas por uma aeronave modelo Phantom 4 Pro possibilitando a obtenção dos valores espectrais dos índices NGRDI, NDVI e GLI em relação as diferentes combinações de doses de adubo. Os índices NGRDI, NDVI e GLI apresentaram correlações significativas com as doses de adubo mineral: $r = 0,824$, $r = 0,836$ e $r = 0,833$, respectivamente. Os modelos de regressão apresentaram coeficiente de determinação $R^2 = 0,693$ (NGRDI); $R^2 = 0,678$ (GLI) e $R^2 = 0,699$ (NDVI). Houve variabilidade significativa entre os blocos e parcelas e foi possível selecionar aquelas de menor e maior desempenho conciliando-se as informações de campo com os dados espectrais. Os índices de vegetação NGRDI, NDVI e GLI apresentaram correlações significativas com a adubação do tipo mineral mesmo em ambiente com alta variabilidade. É possível monitorar o desempenho agronômico em relação a diferentes dosagens de adubação na cultura da batata a partir dos índices de vegetação NGRDI, NDVI e GLI. Quando associada a adubação mineral, a adubação orgânica pode proporcionar produtividades satisfatórias permitindo reduzir o custo e produção mais sustentável.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L.; produção sustentável, fenotipagem de alto desempenho, hortaliças, agricultura orgânica.

INTRODUÇÃO

O cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.) é um dos mais importantes no Brasil ocupando uma área de aproximadamente 10 mil hectares com produção média de 3,5 milhões de toneladas (CONAB, 2020). Diversas pesquisas têm buscado alternativas capazes de aumentar a produtividade e reduzir o custo de produção (SAUSEN et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2020; MAMIYA et al., 2020). Majoritariamente, o cultivo de batata no Brasil é realizado com 100% de aplicação de fertilizantes minerais (GIROTTO et al., 2021; FERNANDES & RIBEIRO, 2020). Há pesquisas com resultados promissores referente a utilização de compostos orgânicos para produção de batata (MAJEE et al., 2021; WIBOWO et al., 2021, ALEMAYEHU et al., 2020).

A adubação é considerada um dos principais elementos de influência na produtividade (WANG et al., 2018). Contudo, a utilização excessiva de fertilizantes minerais nas culturas traz por consequência um aumento do custo de produção (ALVARENGA et al., 2021). Diante disso, um dos métodos utilizados para melhorar a eficiência da adubação envolve melhorar o sistema radicular e nesse contexto, o uso de composto orgânico que geralmente possui substâncias húmicas e apresenta potencial em promover o crescimento das raízes (ABUARAB et al., 2019; SALAMBA et al., 2021).

Combinar diferentes formulações minerais e orgânicas demandam extensas áreas e número elevado de parcelas e subparcelas no experimento de campo (IBRAHIM et al., 2019, MAMUYE et al., 2021). Adicionalmente, as análises são destrutíveis restringindo o número de variáveis respostas do experimento (LACERDA et al., 2020; SILVA et al., 2020). Neste contexto, experimentos com áreas extensas podem se tornar inviáveis e ainda demandar muito tempo do pesquisador durante as avaliações (MARTINS, 2016). Diante disso, é evidente a necessidade de esforços capazes de buscar novas alternativas para avaliar experimentos com maiores dimensões.

Uma série de pesquisas buscam entender e associar o comportamento da variabilidade das culturas através da relação de imagens de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) e informações nutricionais de campo em relação à adubação do solo (KAVVADIAS et al., 2017; LIU et al., 2018; PENG et al., 2021). Desde as últimas décadas o sensoriamento remoto vem crescendo com o interesse de utilizar os dados de refletância para extrair variáveis agrícolas e monitorar o campo (XIE et al., 2019; PÔÇAS et al., 2020). Em experimentos com hortaliças (*Lactuca sativa* e *Cucurbita pepo*) o uso de ARP tem sido utilizado com eficiência na identificação de genótipos superiores havendo coerência nos resultados obtidos pelos índices

de vegetação em relação aos resultados coletados no campo (MACIEL et al., 2019; MACIEL et al., 2020; CLEMENTE et al., 2021; BELOTI et al., 2020). Dentre muitos indicadores, a área foliar está diretamente relacionada com a produtividade das culturas (YOKOYAMA et al., 2018; GOERGEN et al., 2020; BRITO et al., 2021). Contudo, são poucos estudos que associam esses parâmetros de forma indireta e não destrutiva em relação a respostas espectrais provenientes de índices de vegetação.

Os índices de vegetação são calculados através de formulações matemáticas envolvendo diversas regiões do espectro eletromagnético. Sobretudo, destacam-se as regiões da luz visível (RGB) e infravermelho próximo (NIR) como as mais sensíveis ao vigor e comportamento da vegetação (FORMAGGIO e SANCHES, 2017). Estes índices mostraram potencial em associação e sensibilidade a informações de campo relacionadas a dosagens de adubação (PENG et al., 2021).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agrônômico na cultura da batata submetida a diferentes combinações de composto mineral e orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e delineamento experimental

O experimento foi realizado em área de plantio pertencente à Fazenda Água Santa, situada no município de Perdizes – MG, Brasil, com geolocalização a latitude de 19°22'1'' S e longitude 47°23'12,57'' O, no período de 15/06 a 19/10/2019, utilizando a cultivar Asterix (Figura 1).

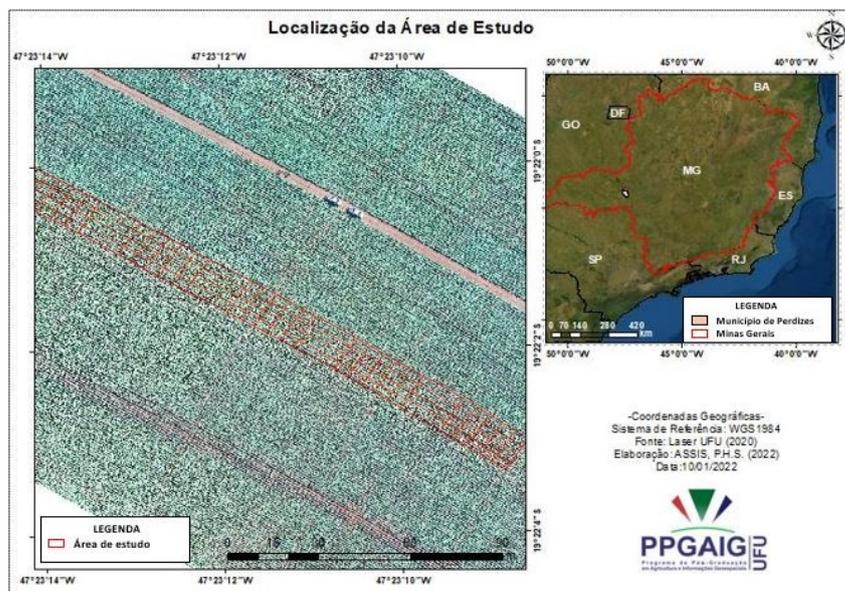


FIGURA 9. Mapa de localização da área de estudo.

Adotou-se o delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas em quatro repetições/blocos submetidas a adubação mineral e orgânica em cinco dosagens diferentes, totalizando-se 25 tratamentos (Figura 2).

25m	100% MINERAL	5-5-I		5-3-II		0% MINERAL	1-5-III		1-4-IV	
		5-4-I		5-2-II			1-3-III		1-2-IV	
		5-3-I		5-1-II			1-4-III		1-1-IV	
		5-2-I		5-4-II			1-2-III		1-3-IV	
		5-1-I		5-5-II			1-1-III		1-5-IV	
25m	75% MINERAL	4-5-I		4-2-II		100% MINERAL	5-3-III		5-5-IV	
		4-4-I		4-1-II			5-2-III		5-4-IV	
		4-3-I		4-4-II			5-4-III		5-1-IV	
		4-2-I		4-3-II			5-5-III		5-2-IV	
		4-1-I		4-5-II			5-1-III		5-3-IV	
25m	50% MINERAL	3-5-I		3-1-II		75% MINERAL	4-2-III		4-5-IV	
		3-4-I		3-5-II			4-3-III		4-2-IV	
		3-3-I		3-2-II			4-1-III		4-3-IV	
		3-2-I		3-3-II			4-5-III		4-4-IV	
		3-1-I		3-4-II			4-4-III		4-1-IV	
25m	25% MINERAL	2-5-I		2-3-II		50% MINERAL	3-2-III		3-5-IV	
		2-4-I		2-2-II			3-1-III		3-4-IV	
		2-3-I		2-1-II			3-3-III		3-1-IV	
		2-2-I		2-5-II			3-5-III		3-2-IV	
		2-1-I		2-4-II			3-4-III		3-3-IV	
25m	0% MINERAL	1-5-I		1-1-II		25% MINERAL	2-3-III		2-5-IV	
		1-4-I		1-3-II			2-2-III		2-1-IV	
		1-3-I		1-4-II			2-1-III		2-4-IV	
		1-2-I		1-5-II			2-4-III		2-3-IV	
		1-1-I		1-2-II			2-5-III		2-2-IV	
		BLOCO I		BLOCO II		BLOCO III		BLOCO IV		

FIGURA 10. Croqui do experimento. Azul – Bloco 1; Vermelho – Bloco 2; Amarelo – Bloco 3; Cinza – Bloco 4.

A classificação quanto a dosagem em adubação mineral tem a seguinte variação em campo: 1 – sem adubação mineral; 2 – 25% de adubação mineral; 3 – 50% de adubação mineral; 4 – 75% de adubação mineral; 5 – 100% de adubação mineral.

A classificação quanto a dosagem em adubação com composto orgânico tem a seguinte variação em campo: 1 – sem adubação; 2 – adubação com 5 t/ha; 3 – adubação com 10 t/ha; 4 – adubação com 15 t/ha; 5 – adubação com 20 t/ha. Assim, a nomenclatura 1-1-I implica dizer que aquela parcela possui 0% adubação mineral, sem adubação com composto orgânico e pertencente ao bloco I (Figura 2).

Foram avaliadas as seguintes variáveis respostas de campo: estado nutricional, classificação dos tubérculos e produtividade.

As adubações de cobertura foram comuns a todos os tratamentos com ureia em 4 aplicações em fertirrigação sendo aos 22, 26, 41 e 62 dias após o plantio (DAP) nas respectivas quantidades de 60, 100, 60 e 60 kg/ha. O monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas, foram aplicados produtos registrados para o cultivo de batata, quando necessário, seguindo as doses recomendadas conforme (LOPES et al, 2016; NAVA; DIEZ-RODRÍGUEZ, 2016; SILVA, 2016). As avaliações do estado nutricional com base em taxa de absorção de nutrientes, rendimento de tubérculos e produtividade também foram executadas conforme (LOPES et al, 2016; NAVA; DIEZ-RODRÍGUEZ, 2016; SILVA, 2016).

Fluxograma Experimental

As etapas metodológicas, o processamento de imagens e análise dos dados estão apresentadas no fluxograma experimental (Figura 11).

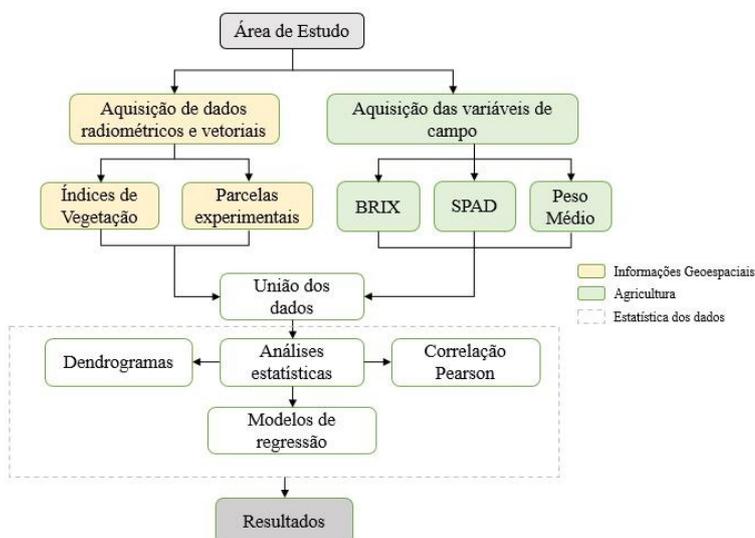


FIGURA 11. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Para a aquisição dos dados aéreos, realizou-se um voo cento e dez dias após o plantio (DAP) a partir de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) modelo Phantom 4 Pro com câmera RGB de resolução 20 megapixels e câmera Mapir Survey3 embarcada. O voo foi realizado de forma autônoma pelo software DroneDeploy a uma altura de sessenta metros, com sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 75% e GSD = 4,5 cm/pixel.

Processamento Digital dos Dados

Para este estudo, o ortomosaico proveniente das imagens aéreas foi gerado no software Pix4d Mapper, e foram utilizados os índices de vegetação (IV's) apresentados na Tabela 5:

TABELA 5. Índices de vegetação utilizados no experimento.

Índice	Equação	Referência
NDVI- Normalized Difference Vegetation Index	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	Rouse et al., (1973)
GLI-Green Leaf Index	$\frac{(2 \times G - R - B)}{(2 \times G + R + B)}$	Gitelson et al. (2002)
NGRDI- Normalized Green Red Difference Index	$\frac{G - R}{G + R}$	Tucker (1979)

G= green band; R = red band; B= blue band; NIR= Near infra-red band.

Os valores de radiometria dos índices foram calculados e extraídos para cada parcela experimental por meio do software ENVI Classic. Em seguida, os valores foram integrados aos dados vetoriais das parcelas experimentais que estão em formato *shapefile* e unificados com as informações de campo a uma planilha .xls via software MiniTab 18. Para as análises de espacialização, associação e classificação de dados geográficos utilizou-se os softwares ENVI Classic e ArcMap 10.5.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise multivariada com o objetivo de determinar a dissimilaridade entre as dosagens de adubação na área de estudo. A matriz de dissimilaridade foi obtida pela matriz de distância de Mahalanobis (D_{2ii}) e a partir dessa matriz a dissimilaridade entre dosagens foi representada por um dendrograma obtido pelo método *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* (UPGMA), validado pelo coeficiente de correlação cofenética. As análises multivariadas foram realizadas no software Genes v.2015.5.0 (CRUZ et al., 2012).

Com intuito de avaliar a existência ou não de uma relação significativa entre os índices de vegetação e as dosagens de adubação em cada uma das parcelas, realizou-se o teste de correlação de Pearson. Para entender o comportamento dos índices de vegetação em relação às dosagens de adubação, foram elaborados modelos estimadores por meio da análise de regressão estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após avaliação dos resultados, os clusters formados a partir do dendrograma UPGMA (Figura 12) apresentaram coeficiente de correlação cofenética de 0,790 (teste t, $p < 0,05$). Deste modo, o dendrograma apresentou os dados matriciais e os clusters subsequentes com resultados significativos. A separação dos grupos deu-se por uma delimitação em uma linha de corte de 25,5%, fixada na região de incidência da mudança abrupta nas ramificações (CRUZ et al., 2012) presentes no dendrograma (Figura 12).

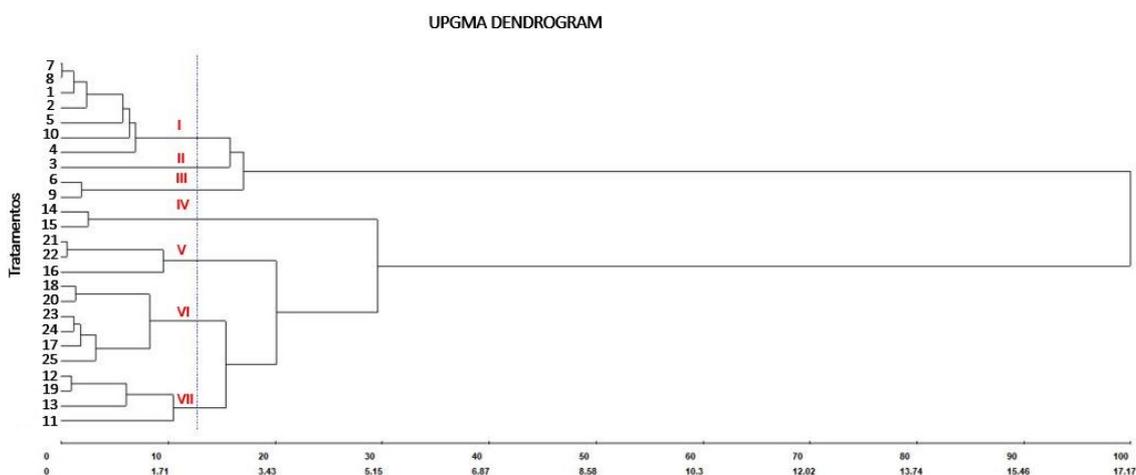


FIGURA 12. Dendrograma elaborado pelo método UPGMA apontando a variabilidade entre as 25 combinações de dosagens de adubo e os índices de vegetação GLI, NGRDI e NDVI na batata (*Solanum tuberosum* L.).

A importância da identificação prévia da existência de dissimilaridade no experimento a partir de dendrograma para validar o uso de imagens para quesitos agrônômicos é fundamental (MACIEL et al., 2019; MACIEL et al., 2020; CLEMENTE et al., 2021). Isto deve-se ao fato de que a estatística multivariada expressa pelo dendrograma consegue detectar a variabilidade presente no terreno demonstrando como o mesmo se comporta, fato que justifica a tentativa do uso de sensores remotos para detectar e captar espectralmente uma resposta a tal variabilidade apresentada (MACIEL et al., 2019; MACIEL et al., 2020). Deste modo, a linha de corte resultou em uma separação constituindo-se sete grupos distintos no qual o primeiro grupo compõe 28% das combinações, o segundo grupo compõe 4%, o terceiro grupo 8%, o quarto grupo 8%, o quinto grupo 12%, o sexto grupo 24% e o sétimo grupo 16%. A formação dos grupos (Figura 12) é indicativo que o experimento proporcionou respostas distintas nesta magnitude (sete grupos) possibilitando ótimo ambiente para validar os diferentes índices de vegetação.

Na análise de variância, todas as variáveis respostas apresentaram contribuição significativa para a dissimilaridade de variabilidade dos dados estudados. Com isso, parâmetros agrônômicos de alta variabilidade das plantas são associados à índices de vegetação com intuito de caracterizar a cobertura vegetal e fenologias das culturas (DIN et al., 2017; MACIEL et al., 2019; PLAZA et al., 2021). Dentre muitos indicadores, a área foliar está diretamente relacionada com a produtividade das culturas (YOKOYAMA et al., 2018; GOERGEN et al., 2020; BRITO et al., 2021). Contudo, são poucos estudos que associam esses parâmetros de forma indireta e não destrutiva em relação a respostas espectrais provenientes de índices de vegetação. Neste estudo buscou-se associar os dados de produtividade mensurados *in situ* aos índices de vegetação calculados (Tabela 6).

TABELA 6. Coeficiente de correlação de Pearson entre os índices (GLI, NGRDI e NDVI) e produtividade medida em campo.

Índices de vegetação	Pearson (Produtividade)	P-valor <0,05
GLI	0.741	0
NGRDI	0.727	0
NDVI	0.745	0

Considerando-se as informações de estado nutricional e tamanho dos tubérculos como base para estimativa da produtividade de campo, ao se associar tais informações com as

imagens digitais, os índices de vegetação apresentaram correlação significativa com os dados de produtividade mensurados no campo. Este resultado pode ser justificado pelo baixo p-valor evidenciado em todas as correlações considerando-se o nível de significância de 5% (Tabela 6).

Em seguida, buscou-se verificar a existência ou não da relação entre os valores espectrais dos índices de vegetação com as dosagens de adubação mineral e orgânica por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (Figura 13).

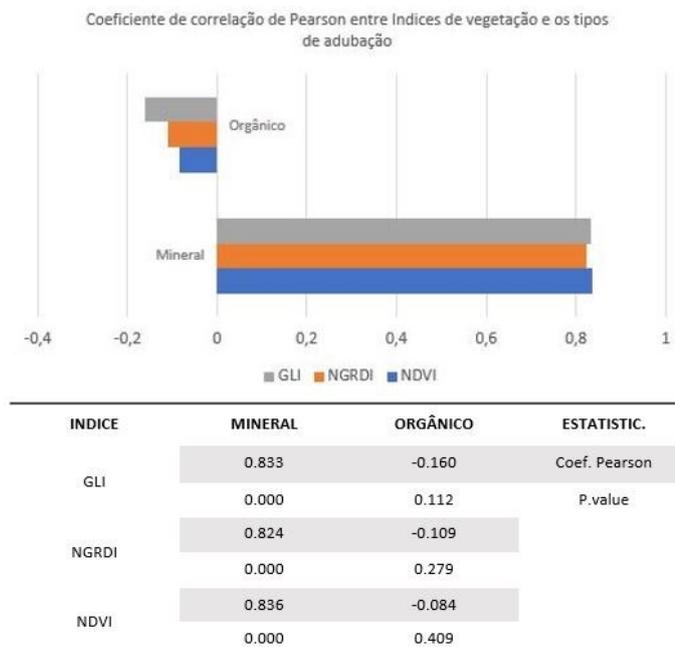


FIGURA 13. Coeficiente de correlação de Pearson e P-valor entre os índices (GLI, NGRDI e NDVI) e diferentes combinações de adubação.

As correlações entre os índices de vegetação GLI, NGRDI e NDVI e as parcelas submetidas a adubação mineral apresentaram-se positivas e significativas com coeficiente superior à 0,8, considerando-se um nível de significância p-valor <0,05. Este evento pode ser justificado pelo fato de que a adubação mineral tem maior concentração de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta quando comparada ao composto orgânico (MAHMOOD e SALMAN, 2017; ARAUJO et al., 2020; PEREIRA et al., 2020). Em relação a adubação com composto orgânico, os coeficientes de correlação de Pearson mostraram-se negativos próximos à zero.

Para o entendimento do comportamento dos índices em relação as dosagens de adubação, foram gerados modelos de regressão estatística (Figura 14).

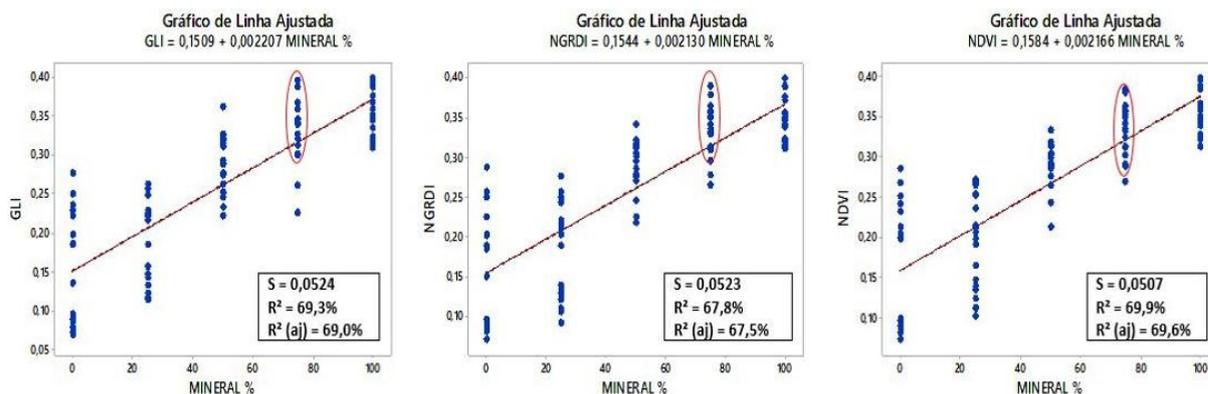


FIGURA 14. Modelos de regressão entre os índices de vegetação GLI, NGRDI e NDVI e adubação mineral.

Os modelos apresentam um comportamento linear para os índices GLI, NGRDI e NDVI (Fig. 5). O coeficiente de determinação em relação à adubação mineral foi superior à 67% sendo que o NDVI apresentou melhor desempenho em explicar o comportamento dos dados ($R^2 = 69,9\%$). O comportamento linear crescente indica que conforme aumenta o percentual de adubação mineral, o valor médio dos índices de vegetação também cresce. Percebe-se que as regiões com dosagens na faixa de 75 a 80% (circunferência em vermelho), apresentam valores de vigor vegetativo tão altos quanto para dosagens a 100%. Logo, os dados sugerem que embora a influência mineral seja de fato superior, a associação de composto orgânico junto a adubação mineral pode render boas respostas em termos de vigor vegetativo e produtividade. Com isso, o produtor poderá fazer combinações de 75% adubação mineral e 25% adubação com composto orgânico ou 80% adubação mineral e 20% com composto orgânico. Logo, haverá uma redução entre 20 a 25% dos custos com insumos minerais o que é bastante significativo do ponto de vista econômico. Estudos mostram que acrescentar a adubação orgânica junto à mineral traz benefícios as culturas e redução de custos ao produtor (HIGASHIKAWA e MENEZES JUNIOR, 2017; LOCATELLI et al., 2019; WICHROWSKA e SZCZEPANEK, 2020; KAREEM et al., 2020).

Com os resultados obtidos referente aos índices de vegetação pode-se verificar a variabilidade de valores definidas em cinco classes. Essa classificação apresenta uma esquematização de cores que indica a variação da intensidade e vigor da vegetação na região de estudo (Figura 15).

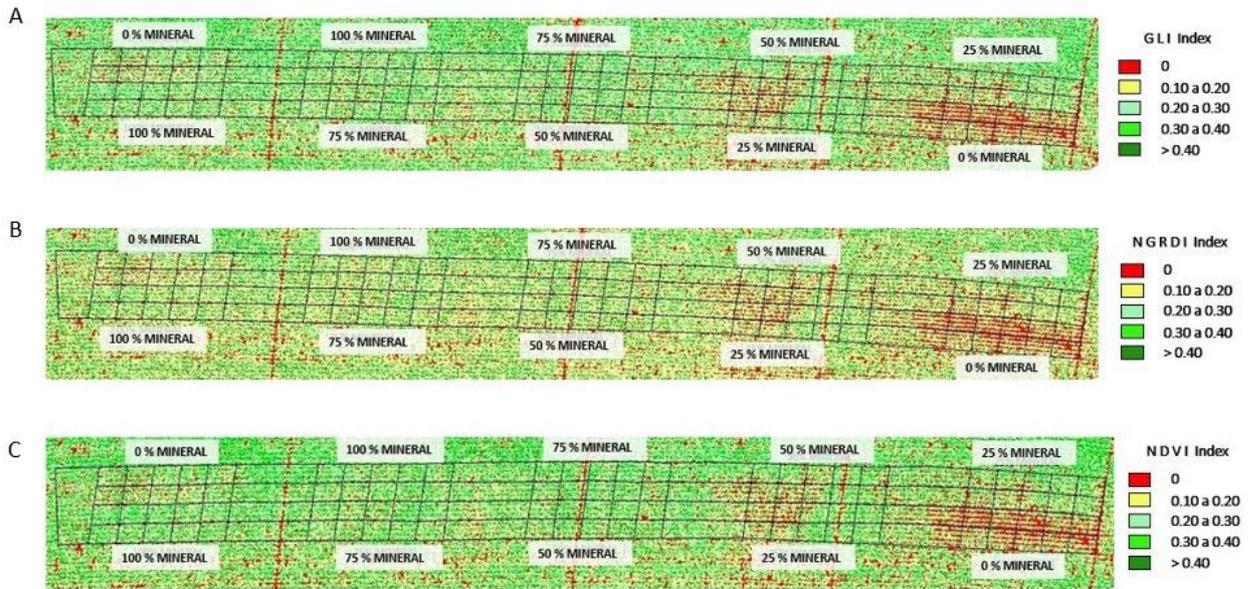


FIGURA 15. Índices de vegetação na área de estudo: A – GLI; B – NGRDI e C - NDVI

A tonalidade vermelha indica ausência de vegetação e baixo vigor vegetativo, e os tons mais escuros de verde, maior vigor vegetativo. Por meio da análise visual, pode-se verificar que os índices GLI, NGRDI e NDVI foram capazes de expressar em mesma magnitude a variabilidade presente nas parcelas de forma eficiente. Em todas as situações percebe-se que as regiões de baixo vigor vegetativo estão presentes em áreas onde as concentrações de dosagem mineral apresentam um percentual baixo, fato que está em concordância com o comportamento apresentado anteriormente pelas correlações entre os índices de vegetação e as dosagens de adubação (Figura 13) e pelos modelos de regressão (Figura 14).

A relação entre os índices de vegetação e a produtividade medida em campo é apresentada na Figura 16. Os índices GLI, NGRDI e NDVI permitiram discriminar os maiores e menores valores de produtividade.

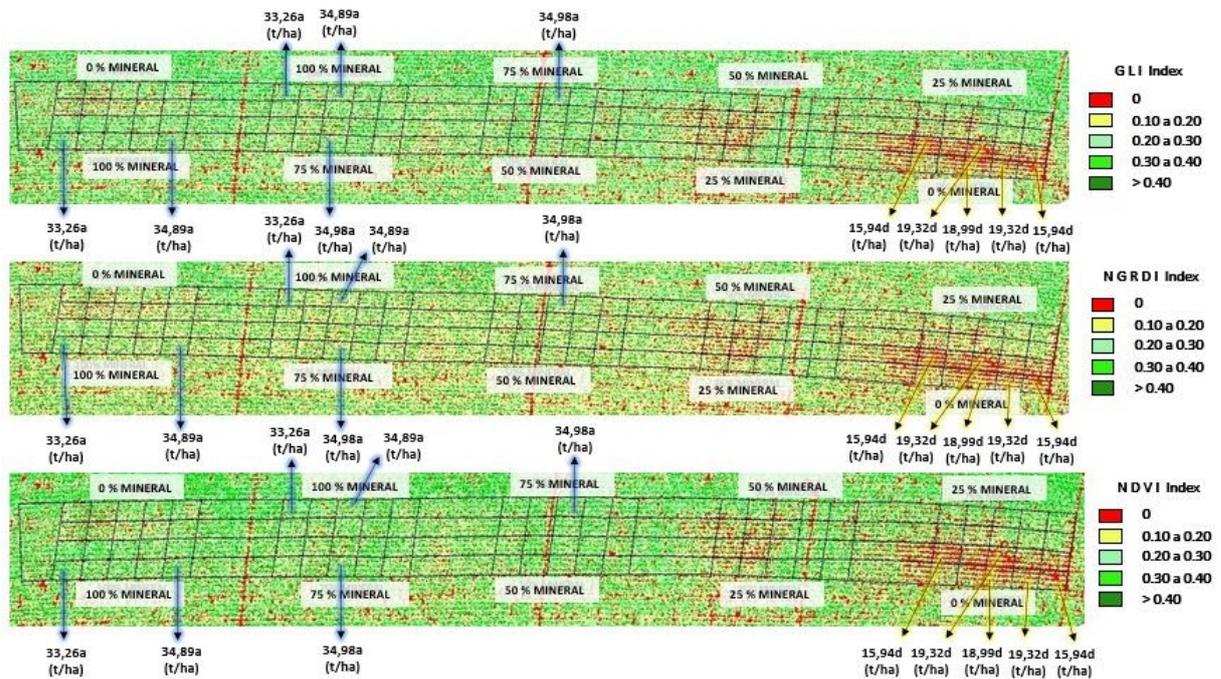


FIGURA 16. Relação entre vigor vegetativo e a produtividade de campo expressa através da espacialização dos índices de vegetação GLI, NGRDI e NDVI na área de estudo. Setas azuis – alta produtividade; Setas amarelas – baixa produtividade.

Os índices de vegetação indicam que as parcelas com adubação de 75 e 100% mineral apresentam melhor desempenho. Isso reafirma e valida a hipótese levantada de que a adubação orgânica tem sua contribuição na lavoura possibilitando a redução de gastos com insumos minerais. Logo, combinações incluindo dosagens entre 20 a 25% de composto orgânico são tão eficientes e menos onerosas do que a adubação a 100% composto mineral. Em contra partida, as parcelas com adubação 0% mineral, ou seja, exclusivamente orgânica, apresentaram pior desempenho. Portanto, os índices de vegetação mostram sua potencialidade de associação com parâmetros de adubação do solo servindo como ferramenta para diversas pesquisas agrônomicas bem como para a tomada de decisão do produtor (ORSINI et al., 2019; CATUREGLI et al., 2019). É recomendado que se utilize mais de um índice de vegetação, como apresentado neste estudo para reduzir as incertezas na tomada de decisão (MARESMAS et al., 2016). O presente estudo aponta que é possível uma redução de custos em 25% caso o produtor ou empresa opte pela adubação com dosagem a 75% mineral.

O uso do sensoriamento remoto em culturas agrícolas gera muitos benefícios aos pesquisadores, melhoristas e produtores. No ponto de vista econômico, neste estudo foi utilizado aeronave a câmera de baixo custo, alto desempenho e excelente nível de detalhamento. Em um estudo de campo que utiliza em média quatro pesquisadores para realizar as análises,

com o uso do sensoriamento remoto a aquisição e processamento dos dados requer um único pesquisador/operador, confirmando sua aplicabilidade e eficiência.

Desta forma as aeronaves remotamente pilotadas minimizam o custo das operações se tornado um meio rápido e preciso para avaliar o ciclo de desenvolvimento agrícola (FURLANETTO et al., 2017).

CONCLUSÃO

Os índices NGRDI, NDVI e GLI apresentaram correlações significativas com a adubação do tipo mineral mesmo em ambiente com alta variabilidade. Os índices de vegetação sugerem a utilização de dosagens que associam a adubação mineral à orgânica. Foi possível monitorar o desempenho agrônômico em relação a diferentes dosagens de adubação na cultura da batata a partir dos índices de vegetação NGRDI, NDVI e GLI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUARAB, M.E.; EL-MOGY, M.M.; HASSAN, A.M.; ABDELDAYM, E.A.; ABDELKADER, N.H.; EL-SAWY, M.B.I. *The effects of root aeration and different soil conditioners on the nutritional values, yield, and water productivity of potato in clay loam soil.* **Agronomy**. v. 9, p. 1-17, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9080418.

ALVARENGA, L.F.; ROSA, G.G.; BARANEK, E.J.; KAWAKAMI, J.; LIMA, C.S.M. *Organic fertilization in potato cultivar Ágata.* **Research, Society and Development**. v.10, n.7, p. 1-8, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16107>

ARAÚJO, L.M.; ANDRADE, F.R.; SILVA, K.L.; LIMA, E.N.; LANSSANOVA, L.R.; MAROSTEGA, T.N. *Application of doses of soil conditioning associated with mineral and organic fertilization in lettuce cultivation.* **Research, Society and Development**, v.9, n.11, p. 1-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10375>

BELOTI, I. F.; MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; FINZI, R. R.; JULIATTI, F. C.; CLEMENTE, A. A.; SIQUIEROLI, A. C. S. *Low-altitude, high-resolution aerial imaging for field crop phenotyping in Cucurbita pepo.* **GENETICS AND MOLECULAR RESEARCH JCR**, v. 19, p. 1-8, 2020.

BRITO, C.F.B.; ALMEIDA, J.R.; SANTOS, M.R.; FONSECA, V.A.; DONATO, S.L.R.; ARANTES, A.M. Abacaxi 'Pérola' irrigado com água salina: correlações entre morfofisiologia-produção e estimativa de área foliar. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, v.9, n.2, p.135-141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.8714>

CATUREGLI, L.; GAETANI, M.; VOLTERRANI, M.; MAGNI, S.; MINELLI, A.; BALDI, A.; BRANDANI, G.; MANCINI, M.; LENZI, A.; ORLANDINI, S.; LULLI, F.; BERTOLDI, C.; DUBBINI, M.; GROSSI, N. *Normalized Difference Vegetation Index versus Dark Green Colour Index to estimate nitrogen status on bermudagrass hybrid and tall fescue*. **International Journal of Remote Sensing**, v.41 n.2, p.455-470, DOI: [10.1080/01431161.2019.1641762](https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1641762)

CLEMENTE, A. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GALLIS, R. B. A. *High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm*. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** **JCR**, v. 103, p. 102533, 2021.

CONAB, **Boletim Hortigranjeiro**. v.6, n.2, 64p, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/boletimhortigranjeiro/download/pdf> . Acesso: set. 2021.

DIN, M.; ZHENG, W.; RASHID, M.; WANG, S.; SHI, Z. *Evaluating hyperspectral vegetation indices for leaf area index estimation of *Oryza sativa* L. at diverse phenological stages*. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, n.820, p. 1-17, 2017. DOI: [10.3389/fpls.2017.00820](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00820)

FURRER, A. N.; CHEGINI, M.; FERRUZZI, M. G. *Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health*. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, p. 146-168, 2018. DOI: [10.1080/10408398.2016.1139542](https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1139542)

FERNANDES, A.M.; RIBEIRO, N.P. *Mineral nutrition and fertilization of Sweet potatoe*, **Científica**, v.48, n.4, p.325-338, 2020. DOI: [10.15361/1984-5529.2020v48n4p325-338](https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n4p325-338)

FILGUEIRA, F.A.R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV. 421p. 2013.

GITELSON, A.A., KAUFMAN, Y.J., STARK, R., RUNDQUIST, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment** 80, 76–87.

GIROTTO, P. H.; ROSA, G. G. da .; BARANEK, E. J.; KAWAKAMI, J. .; LIMA, C. S. M. . *Organic nitrogen fertilization affecting commercial classification of potatoes cv. Asterix* . **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e21510514595, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i5.14595](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14595).

GOERGEN, P.; SCHEFFEL, L.G.; SLIM, T.; NUNES, A.R.; SCHROTER, J.D.; LAGO, I. Índice de área foliar e produtividade de grãos de chia em diferentes datas de semeadura. In: 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA, v. 10, n.2, 2018.

HIGASHIKAWA, F.S.; MENEZES JÚNIOR, F.O.G. Adubação mineral, orgânica e organomineral: efeitos na nutrição, produtividade, pós-colheita da cebola e na fertilidade do solo. **Revista Scientia Agraria**. v.18, n.2, p. 1-10, 2017. ISSN 1983-

IBRAHIM, M.E.; HUSSEIN, A.M.S.; ALI, A.A.; ELKOUSSY, A.H.A. *Effect of mineral and organic fertilizers on yield and technological traits of some bread wheat varieties*, **Menoufia Journal of Plant Production**, v.4, p.19-38, 2019.

KAREEM, I.; AKINRINDE, E.A.; OLADOSU, Y.; EIFEDIYI, E.K.; ABDULMALIQ, S.Y.; ALASINRIN, S.Y.; KAREEM, S.A.; ADEKOLA, O.F. *Influence of organic, inorganic, and organo-mineral fertilizers on yield and quality of Sweet Potato (Ipomoea batatas)*. **Journal. Appl. Sci. Environ. Manage.** v.24, n.1, p.111-118, 2020. DOI: [10.4314/jasem.v24i1.16](https://doi.org/10.4314/jasem.v24i1.16)

KAVVADIAS, A.; PSOMIADIS, E.; CHANIOTI, M.; TSITOURAS, A.; TOULIOS, L.; DERCAS, N. *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data analysis for fertilization dose assessment*. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XIX**, v.10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2278152>

LIU, S.; LI, L.; GAO, W.; ZHANG, Y.; LIU, Y.; WANG, S.; LU, J. *Diagnosis of nitrogen status in winter oilseed rape (Brassica napus L.) using in-situ hyperspectral data and unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral images*. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 185–195, 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.05.026](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.026)

LOCATELLI, J.L.; BRATTI, F.; RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R.; TURCATEL, D.; PIVA, J.T. *Uso de dejetos líquidos de suínos permite reduzir a adubação mineral na cultura do milho?* **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.3, p. 628-637, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17538>

LOPES, CA; REIS, A; LIMA, MF. 2016. Doenças e métodos de controle. In: SILVA, GO; LOPES, CA (eds). *Sistema de produção de batata* Brasília: Embrapa Hortaliças. p.34-52.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A. ; BARBOSA, R. L. ; PEREIRA, L. M. ; SIQUIEROLI, A. C. S. ; PEIXOTO, J. V. M. . *Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels*. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation JCR**, v. 81, p. 154-160, 2019.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A. ; BARBOSA, R. L. ; PEREIRA, L. M. ; SIQUIEROLI, A. C. S. ; PEIXOTO, J. V. M. . *Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels*. **BRAGANTIA JCR**, v. 8, p. 1-12, 2020.

MAHMOOD, J.T.; SALMAN, N.A. *The effect of manure source and level of mineral fertilizer in some qualitative properties of the total sum of the potato (Solanum tuberosumL.)*. **Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences** v.7, n.2, p 37-45, 2017. DOI: [10.33794/qjas.2017.162615](https://doi.org/10.33794/qjas.2017.162615)

MAJEE, S.; HALDER, G.; MANDAL, D.D.; TIWARI, O.N.; MANDAL, T. *Transforming wet blue leather and potato peel into an eco-friendly bio-organic NPK*

fertilizer for intensifying crop productivity and retrieving value-added recyclable chromium salts. *Journal of Hazardous Materials*, v.411, p.1-12, 2021. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2021.125046](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125046)

MAMIYA, K.; TANABE, K.; ONISHI, N. *Production of potato (Solanum tuberosum L.) microtubers using plastic culture bags. Plant Biotechnology*, v.37, n.2, p.233-238, 2020. DOI: [10.5511/plantbiotechnology.20.0312a](https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.20.0312a)

MAMUYE, M.; NEBIYU, A.; ELIAS, E.; BERECHA, G. *Combined use of organic and inorganic nutriente sources improved maize productivity and soil fertility in Southwestern Ethiopia. International Journal of Plant Production*, v.15, p.407-418, 2021. DOI: [10.1007/s42106-021-00144-6](https://doi.org/10.1007/s42106-021-00144-6)

MARESMA, A.; ARIZA, M.; MARTÍNEZ, E.; LLOVERAS, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. *Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (Zea mays L.) from a standard UAV service. Remote Sensing*, v.8, p. 1-15, 2016. DOI: [10.3390/rs8120973](https://doi.org/10.3390/rs8120973)

NASCIMENTO, B.W.; MANKOWSKA, D.B.; ZARZYNSKA, K. *Challenges in the production of High-Quality seed potatoes (Solanum tuberosum L.) in the tropics and subtropics. Agronomy*, v.10, p.1-15, 2020. DOI: [10.3390/agronomy10020260](https://doi.org/10.3390/agronomy10020260)

NAVA, DE; DIEZ-RODRÍGUEZ, GI. 2016. Insetos e métodos de controle. In: SILVA, GO; LOPES, CA (eds). *Sistema de produção de batata* Brasília: Embrapa Hortaliças. p.53-62.

ORSINI, R.; FIORENTINI, M.; ZENOBI, S. "Testing vegetation index categories as influenced by soil management and nitrogen fertilization in cereal based cropping systems." IEEE *International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, 2019, pp. 13-18, DOI: [10.1109/MetroAgriFor.2019.8909216](https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909216).

PENG, J.; MANEVSKY, K.; KØRUP, K.; LARSEN, R.; ANDERSEN, M. N. *Random forest regression results in accurate assessment of potato nitrogen status based on multispectral data from different platforms and the critical concentration approach. Field Crops Research*, v.268, p. 1-12. DOI: [10.1016/j.fcr.2021.108158](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108158)

PEREIRA, A.G.C.; VIANA, J.A.S.; SILVA, M.V.S.O.; DAVID, E.C.; CAMPINAS, D.S.N.; DUARTE, L.S. Respostas de cultivares de rúcula à adubação nitrogenada mineral e orgânica aplicada via cobertura. *Brazilian Journal of Development*. v.6, n.8, p.61008-61016, 2020. DOI: [10.34117/bjdv6n8-497](https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-497)

PLAZA, J.; CRIADO, M.; SÁNCHEZ, N.; PÉREZ-SÁNCHEZ, R.; PALACIOS, C.; CHARFOLÉ, F. *UAV multispectral imaging potential to monitor and predict agronomic characteristics of different forage associations. Agronomy*, v.11, p. 1-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091697>

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. In: *Third ERTS Symposium, Proceedings*, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SALAMBA, H.N.; MALIA, I.E.; ARDAN, M. *The effectiveness of rice straw based compost on potato production as a basis of organic farming system in North Sulawesi Indonesia. E3S Web of Conferences*, v.232, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203016>

SAUSEN, D.; CASSANEGO, D.B.; MAMBRIN, R.B.; SASSO, V.M.; POSSEBOM, G.; FRARI, B.K.D. *Biomass of potato clones subjected to contrasting doses of phosphorus in the soil. Brazilian Journal of Development*, v.6, n.2, p.7479-7487, 2020. DOI: [10.34117/bjdv6n2-158](https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-158)

SILVA, HRF; FONTES, PCR. 2016. Adubação potássica e seu efeito residual sobre a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51: 842-848.

TUCKER, C. J. *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127–150, 1979

WANG, X.; FAN, J.; XING, Y.; XU, G.; WANG, H.; DENG, J.; LI, Z. *The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. Advances in Agronomy*. v. s.n. p. 1-53, 2018 DOI: [10.1016/bs.agron.2018.08.003](https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.08.003)

WIBOWO, C.; WIJAYA, K.; BIYANTARA, A.L. *Effect of organic fertilizer and application of charcoal on quality of potato tuber variety atlantic. Earth and Environmental Science*, v.653, p. 1-7, 2021. DOI: [0.1088/1755-1315/653/1/012125](https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012125)

WICHROWSKA, D.; SZCZEPANEK, M. *Possibility of limiting mineral fertilization in potato cultivation by using bio-fertilizer and its influence on protein content in Potato tubers. Agriculture*, v.10, p.2-16, 2020. DOI: [10.3390/agriculture10100442](https://doi.org/10.3390/agriculture10100442)

XIE, Q.; DASH, J.; HUETE, A.; JIANG, A.; YIN, G.; DING, Y.; PENG, D.; HALL, C.C.; BROWN, L.; SHI, Y.; YE, H.; DONG, Y.; HUANG, W. *Retrieval of crop biophysical parameters from Sentinel-2 sensing imagery. Int. Journal Appl. Earth Obs. Geoinformation*, v.80, p.187-195, 2019.

3. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO MONITORAMENTO DO DESEMPENHO AGRONÔMICO EM GERMOPLASMA DE MELANCIA

RESUMO

O cultivo de melancia representa importante função socioeconômica no Brasil. Apesar de todo esforço, verifica-se que nos programas de melhoramento genético o processo de seleção é realizado com número limitado de acessos. Isso se deve ao fato de que se trata de uma espécie cuja fitotecnia é complexa e demanda áreas maiores para avaliação. Áreas maiores significam maior demanda de tempo para avaliar com as metodologias convencionais a campo. Neste contexto, tem-se observado o uso de imagens com intuito de otimizar recursos e tempo de avaliações no campo. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agronômico em germoplasma de melancia. O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados contendo 118 genótipos de melancia. Foi avaliado a partir de coletas manuais a campo o teor de clorofila, Brix e peso médio de frutos. Visando identificar o potencial uso de imagens foram avaliados quatro diferentes índices de vegetação: NGRDI, GLI, SAVI e NDVI. É possível monitorar o desempenho agronômico em germoplasma de melancia a partir de imagens. Os índices NGRDI, NDVI, SAVI e GLI apresentaram correlações significativas com a variável BRUX e SPAD mesmo em ambiente com alta variabilidade. É possível monitorar por meio do sensoriamento remoto parâmetros de campo que não estejam diretamente relacionados a folha, mas que de alguma forma causam uma contribuição indireta as mesmas. Os índices NGRDI, NDVI e SAVI foram sensíveis em captar essa relação indireta com a variável BRUX.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus* L; germoplasma; desempenho agronômico; índices de vegetação.

INTRODUÇÃO

O cultivo da melancia (*Citrullus lanatus* L.) representa um importante segmento do agronegócio brasileiro, sendo a terceira fruta mais produzida no país, com produção de 2.240.796 toneladas em uma área colhida de 101.975 hectares (CONAB, 2021). Dada tamanha demanda, pesquisas têm buscado alternativas capazes de aumentar a produtividade e reduzir o custo de produção (KALISCHUK et al., 2019; UMER et al., 2020; LI et al., 2021).

Apesar do potencial da cultura, o avanço na obtenção de novas cultivares é moroso por se tratar de uma espécie de fitotecnia complexa, além da necessidade de extensas áreas durante a seleção. Neste contexto, sugere-se que isso pode limitar o número de acessos avaliados em um banco de germoplasma. Tradicionalmente, pesquisas têm priorizado avaliar quesitos agronômicos e qualidade de fruto em melancia, se destacando peso médio de fruto e Brix°, respectivamente (SILVA et al., 2017; TAVARES et al., 2018). Adicionalmente, o teor de clorofila vem sendo frequentemente utilizado na avaliação de campo por apresentar possível seleção indireta para produtividade (SORATTO et al., 2004; PRANDO et al., 2019). Para tanto, as variáveis respostas em campo para clorofila são tradicionalmente obtidas através de leitores que indicam o conteúdo de nitrogênio (N) ou clorofila A e B nas folhas sendo comumente utilizado o equipamento MINOLTA SPAD-502.

Uma série de pesquisas buscam entender e associar o comportamento da variabilidade das culturas através da relação de imagens de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) e informações nutricionais de campo (KAVVADIAS et al., 2017; LIU et al., 2018; PENG et al., 2021). Desde as últimas décadas o sensoriamento remoto vem crescendo com o interesse de utilizar os dados de refletância para extrair variáveis agrícolas e monitorar o campo (XIE et al., 2019; PÔÇAS et al., 2020). Em experimentos com hortaliças (*Lactuca sativa* e *Cucurbita pepo*), o uso de ARP tem sido utilizado com eficiência na identificação de genótipos superiores havendo coerência nos resultados obtidos pelos índices de vegetação em relação aos resultados coletados do campo (MACIEL et al., 2019; MACIEL et al., 2020; CLEMENTE et al., 2021; BELOTI et al., 2020). Dentre muitos indicadores, a área foliar e clorofila estão diretamente relacionadas com a produtividade das culturas (YOKOYAMA et al., 2018; GOERGEN et al., 2020; BRITO et al., 2021). Contudo, são poucos estudos que associam esses parâmetros de forma indireta e não destrutiva em relação a respostas espectrais provenientes de índices de vegetação na cultura da melancia.

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o uso de diferentes índices de vegetação no monitoramento do desempenho agrônômico na cultura da melancia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados da pesquisa foram obtidos em experimento realizado na Estação Experimental de Hortaliças da UFU no município de Monte Carmelo – MG, com geolocalização a latitude de 18° 42' 43" S e longitude 47°29'58" O (Figura 17).

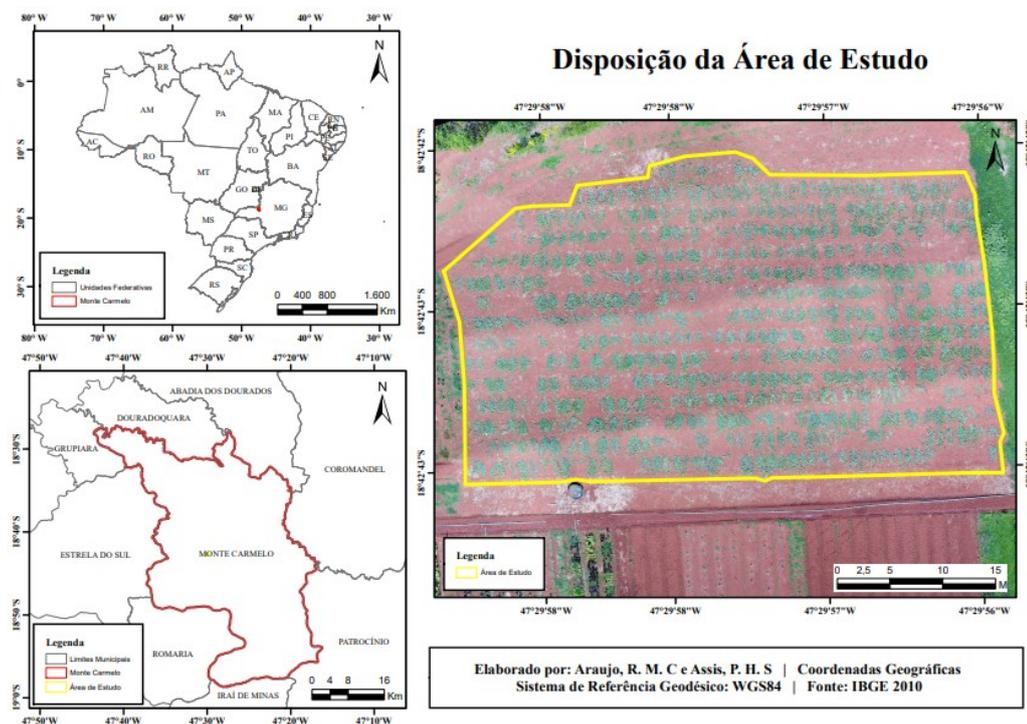


FIGURA 17. Mapa de localização da área de estudo.

Para este estudo foram avaliados 118 genótipos de melancia. O experimento foi executado em blocos casualizados (DBC). As parcelas experimentais foram constituídas por quatro plantas. Para cada parcela foram efetuadas três leituras das variáveis BRIX (°Bx - Escala numérica que mede a quantidade de sólidos solúveis em uma solução de sacarose, em suma o nível de açúcar); SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) retorna valores que remetem à quantidade de clorofila na planta; peso médio (peso médio dos frutos em Kg) obtendo-se um valor médio de cada parâmetro em cada parcela.

Fluxograma Experimental

Os procedimentos metodológicos executados no trabalho estão apresentados no

fluxograma da Figura 18.

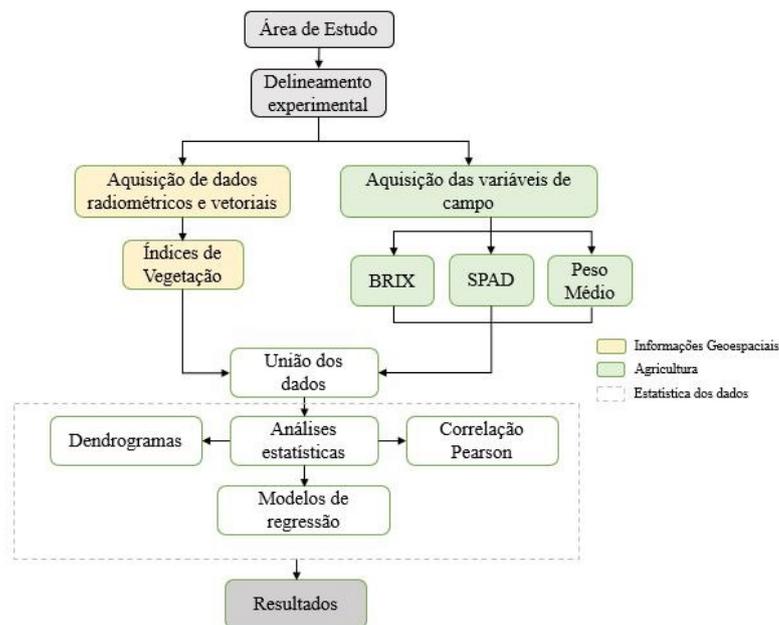


FIGURA 18. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Para a aquisição dos dados aéreos, realizou-se um voo cinquenta dias após o plantio (DAP) a partir de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) modelo Phantom 4 Pro com câmera RGB de resolução 20 megapixels e câmera Mapir Survey3 embarcada. O voo foi realizado de forma autônoma pelo software DroneDeploy a uma altura de vinte metros, com sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 75% e GSD = 1,5 cm/pixel.

Processamento Digital dos Dados

O ortomosaico proveniente das imagens aéreas foi processado pelo software Pix4D Mapper. Para este estudo foram utilizados quatro índices de vegetação (IV's):

TABELA 7. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Índices de vegetação	Equação	Referência
Normalized Green Red Difference Index (NGRDI)	$(G-R/G+R)$	Tucker, (1979)
Green Leaf Index (GLI)	$(2*G-R-B)/(2*G+R+B)$	Gitelson et al., (2002)
Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)	$(NIR-R/NIR+R+L) * (1+L)$	Huete et al., (1988)
Normalized Difference Vegetation Index	$(NIR-R/NIR+R)$	Rousse et al., (1973)

(NDVI)

G = green band; R = red band; B = blue band; NIR = Near infra-red band; L = adjust factor

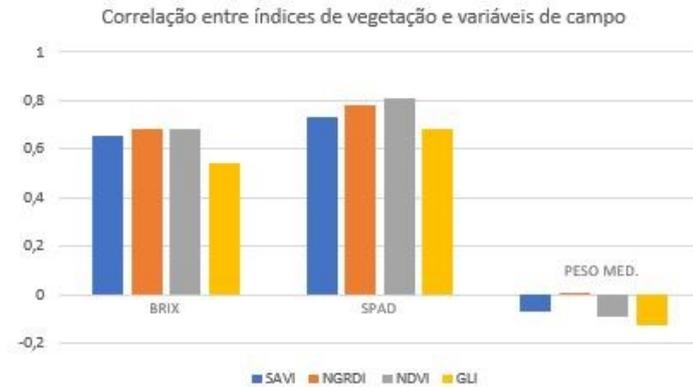
Os valores de radiometria dos índices foram calculados e extraídos para cada parcela experimental através do software ENVI Classic. Em seguida, os valores foram integrados aos dados vetoriais das parcelas experimentais que estão em formato *shapefile* e unificados com as informações de campo a uma planilha .xls via software MiniTab 18. Para as análises de espacialização, associação e classificação de dados geográficos utilizou-se os softwares ENVI Classic e ArcMap 10.5.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise multivariada com o objetivo de determinar a dissimilaridade entre as variáveis respostas. A matriz de dissimilaridade foi obtida pela matriz de distância de Mahalanobis (D_{2ii}), e a partir dessa matriz a dissimilaridade entre os dados foi representada por um dendrograma obtido pelo método *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* (UPGMA), validado pelo coeficiente de correlação cofenética. As análises multivariadas foram realizadas no software Genes v.2015.5.0 (CRUZ et al., 2012). Com intuito de avaliar a existência ou não de uma relação significativa entre os índices de vegetação e as variáveis de campo, realizou-se o teste de correlação de Pearson. Para entender o comportamento dos índices de vegetação em relação às dosagens de adubação, foram elaborados modelos estimadores através da análise de regressão estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após avaliação dos resultados, os índices apresentaram correlação significativa com os dados de SPAD e BRIX e não significativa com os dados de peso médio dos frutos considerando ($p < 0,05$). Tal fato pode ser justificado pelo baixo p-valor evidenciado nas duas primeiras variáveis respostas citadas anteriormente e o alto p-valor para as informações de peso médio, considerando-se o nível de significância de 5% (Figura 19).



INDICE	BRIX	SPAD	PESO MED.	ESTATISTIC.
SAVI	0,652	0,730	-0,068	Coef. Pearson
	0,000	0,000	0,533	P. Value (<0,05)
NGRDI	0,686	0,779	0,006	
	0,000	0,000	0,956	
NDVI	0,683	0,807	-0,087	
	0,000	0,000	0,427	
GLI	0,541	0,682	-0,127	
	0,000	0,000	0,244	

FIGURA 19. Coeficiente de correlação de Pearson dos índices SAVI, NGRDI, NDVI e GLI em relação as variáveis de campo BRIX, SPAD e Peso Médio.

Os maiores valores de correlação são dados pelos índices NGRDI e NDVI em relação ao SPAD (Figura 19). As faixas espectrais do verde e do vermelho podem servir como indicadores de crescimento e desenvolvimento das plantas (KANEMASU, 1974). O NGRDI possui grande potencial como base para estimar a fração da vegetação, biomassa verde, alterações na clorofila foliar e indicar fenologias vegetais (HUNT et al., 2005). Os valores SPAD estão indiretamente associados ao conteúdo de nitrogênio nas plantas, que por sua vez, está associado ao teor de clorofila, sendo este um parâmetro no qual o NDVI é capaz de obter uma resposta sensível devido à captação das variações do vigor da vegetação (ROUSE et al., 1973). Os resultados mostraram que os índices foram sensíveis também à variável BRIX. Logo, variáveis biofísicas de campo que não são obtidas por meio de informações provenientes diretamente das folhas, podem influenciar indiretamente na resposta espectral das mesmas (HUANG, et al. 2021; OJO et al., 2021; SAMIAPPAN et al., 2021). Já o peso médio dos frutos não foi uma variável que obteve uma resposta sensível e nem influência nas folhas que foram capazes de serem captadas pelos índices de vegetação. Assim, para entender o comportamento dos índices em relação às variáveis respostas, foram gerados modelos de regressão estatística (Figuras 20).

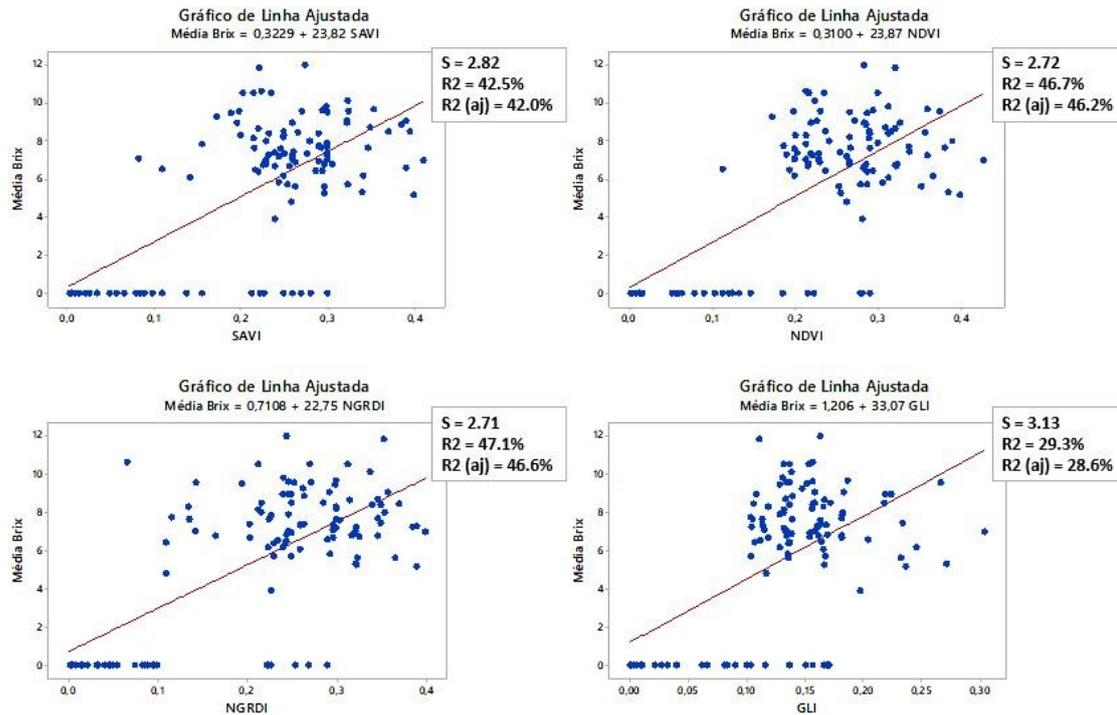


FIGURA 20. Gráfico de linha ajustada entre os índices SAVI, NGRDI, NDVI e GLI em relação a variável BRIX.

Os modelos apresentam um comportamento linear para os índices SAVI, NGRDI NDVI e GLI (Figura 20). O coeficiente de determinação para as variáveis respostas teve desempenho superior à 40% com exceção do índice GLI ($R^2 = 29.3\%$). Logo, com exceção deste último, pode-se afirmar que os demais modelos conseguem explicar o comportamento dos dados observados com uma precisão superior à 40% e que o índice GLI, quando associado à variável BRIX neste estudo, não foi significativamente sensível. O GLI apresenta resultados robustos e mais significativos com variações na clorofila foliar, podendo-se assim ser utilizado como fator indicativo de degradação da vegetação (BALLESTROS et al., 2018). Todavia, em todas as situações apresentadas pelas variáveis resposta, o comportamento gráfico indica um movimento linear crescente, no qual conforme o valor dos índices de vegetação aumenta, o valor da variável BRIX também aumenta.

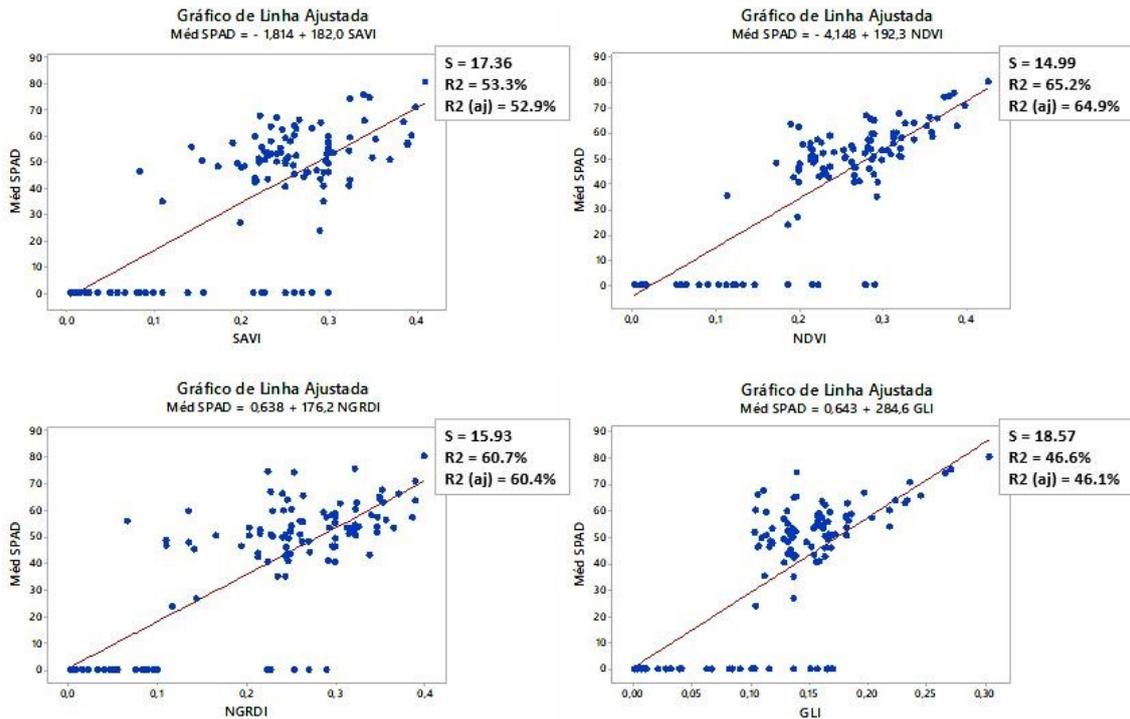


FIGURA 21. Gráfico de linha ajustada entre os índices SAVI, NGRDI, NDVI e GLI em relação a variável SPAD.

Em relação à variável SPAD, os modelos apresentaram um comportamento linear para os índices SAVI, NGRDI, NDVI E GLI (Figura 21). O coeficiente de determinação para as variáveis resposta teve melhor desempenho para os índices NDVI ($R^2 = 65.2\%$) e NGRDI ($R^2 = 60.7\%$). Todos os modelos apresentaram comportamento linear crescente, o que indica que conforme aumenta o valor dos índices de vegetação, os valores SPAD também aumentam. Adicionalmente, muitos estudos apresentam relações significativas da variável SPAD com imagens aéreas digitais. Shu et al., 2021 estimaram valores SPAD para folhas na cultura do milho através de modelos de regressão entre dados de campo em imagens aéreas obtendo $R^2 = 75.0\%$ e $RMSE = 5.57$. O autor ainda destaca a importante contribuição e potencialidade dos índices NGRDI e NDVI em se associar à variável de campo em questão. Liu et al., 2021 utilizaram múltiplos índices de vegetação obtidos por imagens de aeronave remotamente pilotada para estimar valores SPAD nas folhas de cevada nua, obtendo coeficientes de determinação que chegam a $R^2 = 76.0\%$ e $RMSE = 3.65$ gerando resultados e modelos significativos.

Para detectar e validar a existência de dissimilaridade na área experimental, os clusters formados a partir do dendrograma UPGMA (Figura 22) apresentaram coeficiente de correlação cofenética de 0,931 (teste t, $p < 0,05$). Deste modo, o dendrograma apresentou os dados matriciais e os clusters subsequentes com resultados significativos. A separação dos grupos

deu-se por uma delimitação em uma linha de corte de 28%, fixada na região de incidência da mudança abrupta nas ramificações (CRUZ et al., 2012) presentes no dendrograma (Figura 22).

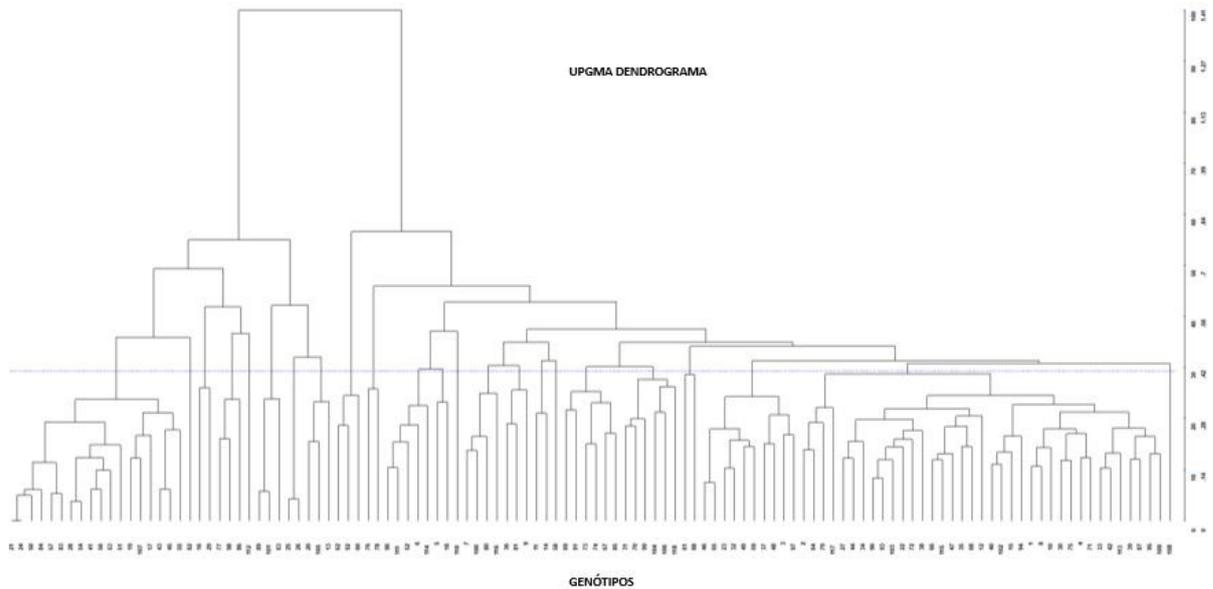


FIGURA 22. Dendrograma elaborado pelo método UPGMA apontando a variabilidade entre os 118 genótipos de melancia, as variáveis respostas de campo e os índices de vegetação.

Deste modo, a linha de corte resultou em uma separação constituindo-se vinte e três grupos distintos. A formação dos grupos (Figura 22) é indicativo que o germoplasma avaliado no experimento possui de fato variabilidade genética (vinte e três grupos) possibilitando ótimo ambiente para validar os diferentes índices de vegetação.

Por fim, os resultados obtidos referente aos índices de vegetação pode-se verificar a variabilidade de valores definidas em cinco classes (Figura 23).

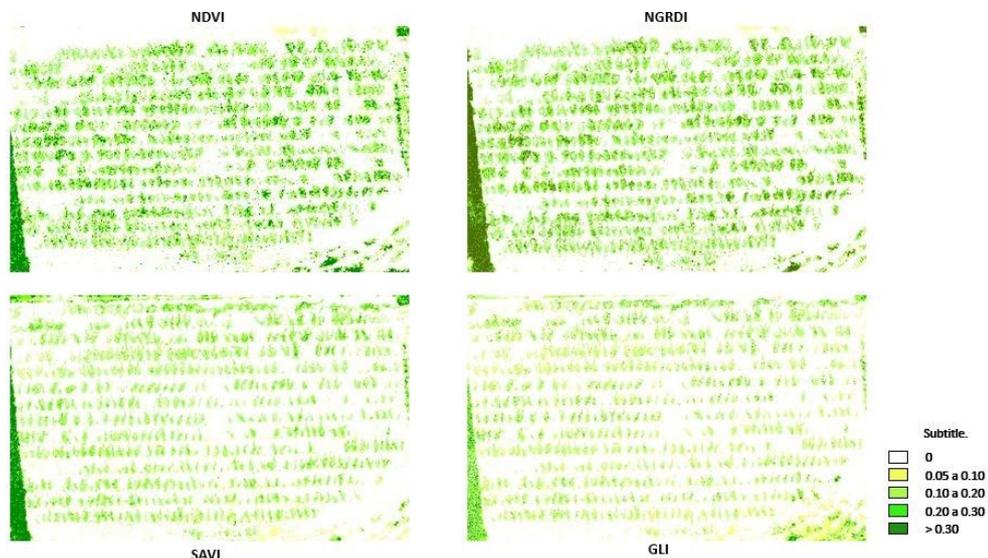


FIGURA 23. Índices de vegetação NDVI, NGRDI, SAVI e GLI na região de estudo.

A tonalidade branca indica ausência de vegetação e baixo vigor vegetativo, e os tons mais escuros de verde, maior vigor vegetativo. Através da análise visual, pode-se verificar que os índices NDVI, NGRDI, SAVI e GLI foram capazes de expressar em diferentes magnitudes a variabilidade presente nas parcelas. Os índices NDVI e NGRDI apresentam um contraste mais significativo referente a variação de cores, o que reafirma as correlações apresentadas na Figura 19 que foram mais significativas para estes índices. Percebe-se também que todos os índices foram capazes de detectar falhas no plantio ou ausência de plantas que não conseguiram se desenvolver na região de estudo (Figura 24).

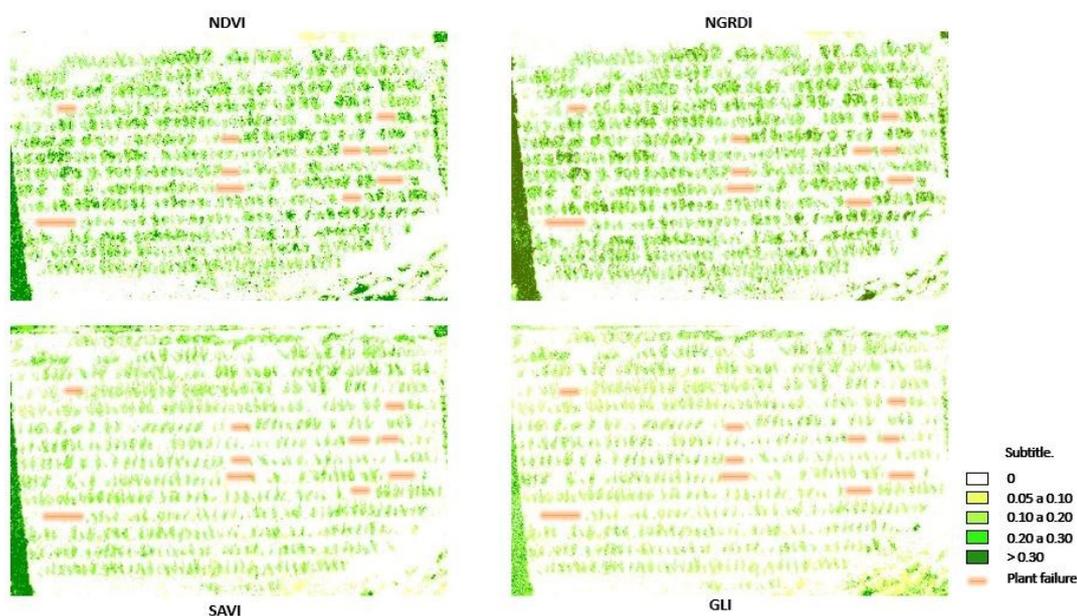


FIGURA 24. Falhas de plantio detectadas nas parcelas experimentais da área de estudo.

Todos os índices detectaram ausência de plantas nas linhas de plantio em regiões similares, mostrando que embora as correlações no âmbito de variáveis biofísicas não se mostraram significativas em todas as variáveis respostas, para a detecção de falhas no plantio os índices demonstram um potencial semelhante. Índices de vegetação na agricultura em sua maioria são calculados a partir das faixas do espectro eletromagnético na região do visível e infra vermelho próximo que por sua vez, remetem diretamente ao vigor da vegetação, o que facilita a detecção de áreas degradadas (ZOUGRANA et al., 2018; GAO et al., 2020; SOUZA et al., 2020).

CONCLUSÃO

É possível monitorar o desempenho agrônômico em germoplasma de melancia a partir

de imagens aéreas. Os índices NGRDI, NDVI, SAVI e GLI apresentaram correlações significativas com a variável BRIX e SPAD mesmo em ambiente com alta variabilidade. É possível monitorar por meio do sensoriamento remoto parâmetros de campo que não estejam diretamente relacionados a folha, mas que de alguma forma causam uma contribuição indireta as mesmas. Os índices NGRDI, NGRDI e SAVI foram sensíveis em captar essa relação indireta com a variável BRIX.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUARAB, M.E.; EL-MOGY, M.M.; HASSAN, A.M.; ABDELDAYM, E.A.; ABDELKADER, N.H.; EL-SAWY, M.B.I. *The effects of root aeration and different soil conditioners on the nutritional values, yield, and water productivity of potato in clay loam soil. **Agronomy***. v. 9, p. 1-17, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9080418.
- ALVARENGA, L.F.; ROSA, G.G.; BARANEK, E.J.; KAWAKAMI, J.; LIMA, C.S.M. *Organic fertilization in potato cultivar Ágata. **Research, Society and Development***. v.10, n.7, p. 1-8, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16107>
- ARAÚJO, L.M.; ANDRADE, F.R.; SILVA, K.L.; LIMA, E.N.; LANSSANOVA, L.R.; MAROSTEGA, T.N. *Application of doses of soil conditioning associated with mineral and organic fertilization in lettuce cultivation. **Research, Society and Development***, v.9, n.11, p. 1-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10375>
- ASLAM, I.; ZHAO, S.; AZAM, M.; LU, X.; HE, N.; LI, B.; DOU, J.; ZHU, H.; LIU, W. *Comparative analysis of primary metabolites and transcriptome changes between ungrafted and pumkin-grafted watermelon during fruit development. **PeerJ***, p. 1-30. 2020. DOI: 10.7717/peerj.8259
- BELOTI, I. F. ; MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; FINZI, R. R.; JULIATTI, F. C.; CLEMENTE, A. A.; SIQUIEROLI, A. C. S. *Low-altitude, high-resolution aerial imaging for field crop phenotyping in Cucurbita pepo. **GENETICS AND MOLECULAR RESEARCH JCR***, v. 19, p. 1-8, 2020.
- BRITO, C.F.B.; ALMEIDA, J.R.; SANTOS, M.R.; FONSECA, V.A.; DONATO, S.L.R.; ARANTES, A.M. Abacaxi ‘Pérola’ irrigado com água salina: correlações entre morfofisiologia-produção e estimativa de área foliar. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, v.9, n.2, p.135-141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.8714>
- CATUREGLI, L.; GAETANI, M.; VOLTERRANI, M.; MAGNI, S.; MINELLI, A.; BALDI, A.; BRANDANI, G.; MANCINI, M.; LENZI, A.; ORLANDINI, S.; LULLI, F.; BERTOLDI, C.; DUBBINI, M.; GROSSI, N. *Normalized Difference Vegetation Index versus Dark Green Colour Index to estimate nitrogen status on bermudagrass hybrid and tall fescue. **International Journal of Remote Sensing***, v.41 n.2, p.455-470, DOI: 10.1080/01431161.2019.1641762
- CLEMENTE, A. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GALLIS, R. B. A. *High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation JCR***, v. 103, p. 102533, 2021.
- CONAB, **Boletim Hortigranjeiro**. v.6, n.2, 64p, 2020. Disponível em:

- <https://www.conab.gov.br/boletimhortigranjeiro/download/pdf> . Acesso: set. 2021.
- COOK, B.R.; SATIZÁBAL, P.; CURNOW, J. *Humanising agricultural extension: A review*. **World Development**, v.140, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105337>
- DIN, M.; ZHENG, W.; RASHID, M.; WANG, S.; SHI, Z. *Evaluating hyperspectral vegetation indices for leaf area index estimation of *Oryza sativa* L. at diverse phenological stages*. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, n.820, p. 1-17, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00820
- FURRER, A. N.; CHEGINI, M.; FERRUZZI, M. G. *Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health*. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, p. 146-168, 2018. DOI: 10.1080/10408398.2016.1139542
- FERNANDES, A.M.; RIBEIRO, N.P. *Mineral nutrition and fertilization of Sweet potatoe*, **Científica**, v.48, n.4, p.325-338, 2020. DOI: 10.15361/1984-5529.2020v48n4p325-338
- FILGUEIRA, F.A.R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV. 421p. 2013.
- GAO, Y.; SKUTSCH, M.; GÁLVEZ, J.P.; GHILARDI, A. *Remote sensing of forest degradation: a review*, *Environmental Research Letters*, v.15, p. 1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abaad7>
- GITELSON, A.A., KAUFMAN, Y.J., STARK, R., RUNDQUIST, D., 2002. *Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction*. **Remote Sensing of Environment** 80, 76–87.
- GIROTTO, P. H.; ROSA, G. G. da.; BARANEK, E. J.; KAWAKAMI, J. .; LIMA, C. S. M. . *Organic nitrogen fertilization affecting commercial classification of potatoes cv. Asterix* . **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e21510514595, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.14595.
- GOERGEN, P.; SCHEFFEL, L.G.; SLIM, T.; NUNES, A.R.; SCHROTER, J.D.; LAGO, I. *Índice de área foliar e produtividade de grãos de chia em diferentes datas de semeadura*. In: 10° Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA, v. 10, n.2, 2018.
- HAN, Z.; HUANG, Q.; HUANG, S.; LENG, G.; BAI, Q.; LIANG, H.; WANG, L.; ZHAO, J.; FANG, W. *Spatial-temporal dynamics of agricultural drought in the Loess Plateau under a changing environment: Characteristics and potential influencing factors*. **Agricultural Water Management**, v.244. p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106540>
- HIGASHIKAWA, F.S.; MENEZES JÚNIOR, F.O.G. *Adubação mineral, orgânica e organomineral: efeitos na nutrição, produtividade, pós-colheita da cebola e na fertilidade do solo*. **Revista Scientia Agraria**. v.18, n.2, p. 1-10, 2017. ISSN 1983-2443
- HUANG, S.; HAN, W.; CHEN, H.; LI, G.; TANG, J. *Recognizing Zucchini Intercropped with Sunflowers in UAV Visible Images Using an Improved Method Based on OCRNet*. **Remote Sens.**, v.13, p. 1-20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13142706>
- IBRAHIM, M.E.; HUSSEIN, A.M.S.; ALI, A.A.; ELKOUSSY, A.H.A. *Effect of mineral and organic fertilizers on yield and technological traits of some bread wheat varieties*, **Menoufia Journal of Plant Production**, v.4, p.19-38, 2019.
- JAWAD, U.M.; GAO, L.; GEBREMESKEL, H.; SAFDAR, L.B.; YUAN, P.; ZHAO, S.; XUQIANG, L.; NAN, H.; HONGJU, Z.; LIU, W. *Expression pattern of sugars and organic acids regulatory genes during watermelon fruit development*. **Scientia Horticulturae**, v.265, p.1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109102>

JUNIOR, Altemar Lopes Pedreira et al. Efeito da Mudança da Cobertura em Parâmetros Biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 03, p. 1324-1334, 2020.

KALISCHUK, M.; PARET, M.L.; FREEMAN, J.H.; RAJ, D.; SILVA, S.; EUBANKS, S.; WIGGINS, D.J.; LOLLAR, M.; MAROIS, J.J.; MELLINGER, H.C.; DAS, J. *An improved crop scouting technique incorporating unmanned aerial vehicle-assisted multispectral crop imaging into conventional scouting practice for gummy stem blight in watermelon*. *Plant Disease*, v.103, n.7, p. 1642-1650, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-18-1373-RE>

KAREEM, I.; AKINRINDE, E.A.; OLADOSU, Y.; EIFEDIYI, E.K.; ABDULMALIQ, S.Y.; ALASINRIN, S.Y.; KAREEM, S.A.; ADEKOLA, O.F. *Influence of organic, inorganic, and organo-mineral fertilizers on yield and quality of Sweet Potato (Ipomoea batatas)*. *Journal. Appl. Sci. Environ. Manage.* v.24, n.1, p.111-118, 2020. DOI: 10.4314/jasem. v24i1.16

KASPARY, T.E.; CUTTI, L.; BELLÉ, C.; CASAROTTO, G.; RAMOS, R.F. *Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in forage radish and vetch*. *Revista Ceres*, v.67, n.6, p. 424-431, 2020. DOI: 10.1590/0034-737X202067060001

KAVVADIAS, A.; PSOMIADIS, E.; CHANIOTI, M.; TSITOURAS, A.; TOULIOS, L.; DERCAS, N. *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data analysis for fertilization dose assessment*. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XIX*, v.10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2278152>

LIU, S.; LI, L.; GAO, W.; ZHANG, Y.; LIU, Y.; WANG, S.; LU, J. *Diagnosis of nitrogen status in winter oilseed rape (Brassica napus L.) using in-situ hyperspectral data and unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral images*. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 151, p. 185–195, 2018. DOI:10.1016/j.compag.2018.05.026

LOCATELLI, J.L.; BRATTI, F.; RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R.; TURCATEL, D.; PIVA, J.T. *Uso de dejetos líquidos de suínos permite reduzir a adubação mineral na cultura do milho?* *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, n.3, p. 628-637, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17538>

MACIEL, G. M. ; GALLIS, R. B. A. ; BARBOSA, R. L. ; PEREIRA, L. M. ; SIQUIEROLI, A. C. S. ; PEIXOTO, J. V. M. . *Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation ICR*, v. 81, p. 154-160, 2019.

MACIEL, G. M. ; GALLIS, R. B. A. ; BARBOSA, R. L. ; PEREIRA, L. M. ; SIQUIEROLI, A. C. S. ; PEIXOTO, J. V. M. . *Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels*. *BRAGANTIA ICR*, v. 8, p. 1-12, 2020.

MAHMOOD, J.T.; SALMAN, N.A. *The effect of manure source and level of mineral fertilizer in some qualitative properties of the total sum of the potato (Solanum tuberosumL.)*. *Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences* v.7, n.2, p 37-45, 2017. DOI: 10.33794/qjas.2017.162615

MAJEE, S.; HALDER, G.; MANDAL, D.D.; TIWARI, O.N.; MANDAL, T. *Transforming wet blue leather and potato peel into an eco-friendly bio-organic NPK fertilizer for intensifying crop productivity and retrieving value-added recyclable chromium salts*. *Journal of Hazardous Materials*, v.411, p.1-12, 2021. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125046

MAMIYA, K.; TANABE, K.; ONISHI, N. *Production of potato (Solanum tuberosum L.) microtubers using plastic culture bags*. *Plant Biotechnology*, v.37, n.2, p.233-238, 2020. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.20.0312a

- MAMUYE, M.; NEBIYU, A.; ELIAS, E.; BERECHA, G. *Combined use of organic and inorganic nutrient sources improved maize productivity and soil fertility in Southwestern Ethiopia. International Journal of Plant Production*, v.15, p.407-418, 2021. DOI: 10.1007/s42106-021-00144-6
- MARESMA, A.; ARIZA, M.; MARTÍNEZ, E.; LLOVERAS, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. *Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (Zea mays L.) from a standard UAV service. Remote Sensing*, v.8, p. 1-15, 2016. DOI: 10.3390/rs8120973
- NASCIMENTO, B.W.; MANKOWSKA, D.B.; ZARZYNSKA, K. *Challenges in the production of High-Quality seed potatoes (Solanum tuberosum L.) in the tropics and subtropics. Agronomy*, v.10, p.1-15, 2020. DOI:10.3390/agronomy10020260
- NERES, J.; DODONOV, P.; MIELKE, M.S.; STRENZEL, G.M.R. *Relationships between portable chlorophyll meter estimates for the red mangrove tree (Rhizophora mangle L.). Ocean and Coastal Research*, v.68, p. 1-5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s2675-28242020068308>
- OJO, I. A., COSTA, L., AMPATIZDIS, Y., ALFEREZ, F., & SHUKLA, S. *Citrus Fruit Maturity Prediction Utilizing UAV Multispectral Imaging and Machine Learning*. In *2021 ASABE Annual International Virtual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. DOI:10.13031/aim.202100495
- ORSINI, R.; FIORENTINI, M.; ZENOBI, S. "Testing vegetation index categories as influenced by soil management and nitrogen fertilization in cereal based cropping systems." *IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, 2019, pp. 13-18, doi: 10.1109/MetroAgriFor.2019.8909216.
- PRANDO, A.M.; SOUZA, T.M.; JUNIOR, A.O.; ZUCARELI, C. Produtividade, índice de vegetação e clorofila de trigo em resposta a inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada em cobertura. *Revista de Ciências Agronômicas*, v.28, n.3, p. 329-342, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n3p329-342>
- PENG, J.; MANEVSKY, K.; KØRUP, K.; LARSEN, R.; ANDERSEN, M. N. *Random forest regression results in accurate assessment of potato nitrogen status based on multispectral data from different platforms and the critical concentration approach. Field Crops Research*, v.268, p. 1-12. DOI:10.1016/j.fcr.2021.108158
- PEREIRA, A.G.C.; VIANA, J.A.S.; SILVA, M.V.S.O.; DAVID, E.C.; CAMPINAS, D.S.N.; DUARTE, L.S. Respostas de cultivares de rúcula à adubação nitrogenada mineral e orgânica aplicada via cobertura. *Brazilian Journal of Development*. v.6, n.8, p.61008-61016, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-497
- PLAZA, J.; CRIADO, M.; SÁNCHEZ, N.; PÉREZ-SÁNCHEZ, R.; PALACIOS, C.; CHARFOLÉ, F. *UAV multispectral imaging potential to monitor and predict agronomic characteristics of different forage associations. Agronomy*, v.11, p. 1-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091697>
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. In: *Third ERTS Symposium, Proceedings*, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.
- SALAMBA, H.N.; MALIA, I.E.; ARDAN, M. *The effectiveness of rice straw based compost on potato production as a basis of organic farming system in North Sulawesi Indonesia. E3S Web of Conferences*, v.232, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203016>

S. SAMIAPPAN, R. BHEEMANAHALLI, M. ZHOU, J. BROOKS and M. WUBBEN, "Early Detection of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne Incognita*) Infestation in Cotton Using Hyperspectral Data," 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021, pp. 5849-5852, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554055.

SAUSEN, D.; CASSANEGO, D.B.; MAMBRIN, R.B.; SASSO, V.M.; POSSEBOM, G.; FRARI, B.K.D. Biomass of potato clones subjected to contrasting doses of phosphorus in the soil. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.2, p.7479-7487, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n2-158

SHU, M.; ZUO, J.; SHEN, M.; YIN, P.; WANG, M.; YANG, X.; TANG, J.; LI, B.; MA, Y. Improving the estimation accuracy of SPAD values for maize leaves by removing UAV hyperspectral image backgrounds. **International Journal of Remote Sensing**, v.42, n.15, p. 5862-5881, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1931539>

SILVA, E.S.; CARMO, I.L.G.S.; NETO, J.L.L.M.; MEDEIROS, R.D.; MENEZES, P.H.S.; RODRIGUEZ, C.A. Características agronômicas de cultivares de melancia nas condições do cerrado de Roraima, Brasil. **Scientia Agropecuaria**, v.8, n.3, p. 193-201, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.02>

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Nutrição Mineral Pes. Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p. 895-901, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900009>

SOUZA, A.A.; GALVÃO, L.S.; KORTING, T.S.; PRIETO, J.D. Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 7, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1835080>

TRAVARES, A.T.; VAZ, J.C.; COELHO, R.S.; LOPES, D.A.S.P. Aptidão agronômica de genótipos de melancia no sul do estado do Tocantins. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.14, n.1, p. 1-7, 2018. DOI: 10.30969/acsa.v14i1.964

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127–150, 1979

UMER, M.J.; SAFDAR, L.B.; GEBREMESKEL, H.; ZHAO, S.; YUAN, P.; ZHU, H.; KASEB, M.O.; ANEES, M.; LU, X.; HE, N.; GONG, C.; LIU, W. Identification of key gene networks controlling organic acid and sugar metabolism during watermelon fruit development by integrating metabolic phenotypes and gene expression profiles. **Horticulture Research**, v.7, n.93, p.1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00416-8>

WANG, X.; FAN, J.; XING, Y.; XU, G.; WANG, H.; DENG, J.; LI, Z. The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. **Advances in Agronomy**. v. s.n. p. 1-53, 2018 DOI:10.1016/bs.agron.2018.08.003

WIBOWO, C.; WIJAYA, K.; BIYANTARA, A.L. Effect of organic fertilizer and application of charcoal on quality of potato tuber variety atlantic. **Earth and Environmental Science**, v.653, p. 1-7, 2021. DOI: 0.1088/1755-1315/653/1/012125

WICHROWSKA, D.; SZCZEPANEK, M. Possibility of limiting mineral fertilization in potato cultivation by using bio-fertilizer and its influence on protein content in Potato tubers. **Agriculture**, v.10, p.2-16, 2020. DOI: 10.3390/agriculture10100442

XIE, Q.; DASH, J.; HUETE, A.; JIANG, A.; YIN, G.; DING, Y.; PENG, D.; HALL, C.C.; BROWN, L.; SHI, Y.; YE, H.; DONG, Y.; HUANG, W. Retrieval of crop biophysical parameters from Sentinel-2 sensing imagery. **Int. Journal Appl. Earth Obs. Geoinformation**, v.80, p.187-195, 2019.

ZOUGRANA, B.J.B.; CONRAD, C.; THIEL, M.; AMEKUDZI, L.K.; DA, E.D. *MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improve assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa*, ***Journal of Arid Environments***, v.153, p. 66-75, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.01.005>