

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS BAMBUÍ*
BACHARELADO EM AGRONOMIA

NATÁLIA LASMAR MEDEIROS

**CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum L.*) E SUA RELAÇÃO
COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

BambuÍ
2023

NATÁLIA LASMAR MEDEIROS

**CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum L.*) E SUA RELAÇÃO
COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus Bambuí* para obtenção do grau de bacharela em Agronomia.

Orientador: Diogo Santos Campos

Coorientadora: Gislaine Pacheco Tormen

Bambuí

2023

Natália Lasmar Medeiros

**CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) E SUARELAÇÃO
COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Bacharelado em Agronomia do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí
para obtenção do grau de bacharela em
Agronomia.

Orientador: Diogo Santos Campos

Coorientadora: Gislaine Pacheco Tormen

Aprovado em __/__/____ pela banca examinadora:

Prof. Diogo Santos Campos (Orientador)

Prof.^a Gislaine Pacheco Tormen (Coorientadora)

Prof. Luciano Donizete Gonçalves (Professor do IFMG)

Prof. Robson Shigueaki Sasaki (Professor do IFMG)

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

M488p Medeiros, Natália Lasmar.
Produção da cultura da batata (*Solanumtuberosum* L.) e sua relação com índices de vegetação obtidos por veículo aéreo não tripulado. / Natália Lasmar Medeiros. – 2023.
28 f.

Orientador: Diogo Campos Santos.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Bacharelado em Agronomia, 2023.

1. Geotecnologia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Imagens RGB. I. Santos, Diogo Campos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 635.21



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Engenharia e Computação
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

Natália Lasmar Medeiros

**CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum L.*) E SUA RELAÇÃO
COMÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus Bambuí* para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Diogo Santos Campos Coorientadora: Gislane Pacheco Tormen

Aprovado em 21/06/2023 pela banca examinadora:

Prof. Diogo Santos Campos (Orientador)

Prof.^a Gislane Pacheco Tormen (Coorientadora)

Prof. Luciano Donizete Gonçalves (Professor do IFMG)

Prof. Robson Shigueaki Sasaki (Professor do IFMG)

Bambuí, 07 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Santos Campos, Professor**, em 07/07/2023, às 15:54, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gislaine Pacheco Tormen, Professora**, em 07/07/2023, às 16:16, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Robson Shigueaki Sasaki, Professor**, em 07/07/2023, às 16:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Donizete Gonçalves, Professor**, em 11/07/2023, às 13:39, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoocs> informando o código verificador **1608209** e o código CRC **C3AFA4A6**.

23209.004814/2021-15

1608209v1

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus por ter me dado forças até aqui para realizar meu sonho. A toda a minha família, que nunca me desamparou; em especial, minha avó Verilda (*in memória*) e minha tia Juçara, com quem morei no início da graduação. Aos meus pais, Salete e Glênio, que são meu alicerce. Ao pai do meu filho, João Victor, que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e, principalmente, ao meu filho, Heitor, que me dá esperança de dias melhores e a quem eu dedico esta conquista.

Aos colegas de faculdade, o meu muito obrigado por todos esses anos; em especial, Maria Luiza, Luanna e João Antônio, que nunca me deixaram desistir, sempre apoiaram nos bons e maus momentos e que me ajudaram desde o início neste trabalho.

A todos os professores, que me passaram conhecimentos e lições de vida. Ao meu orientador, Diogo Campos, por toda paciência e dedicação em me ajudar; à minha coorientadora, Gislaine, que me deu toda atenção e ajuda possível; e ao professor Luciano Donizete, que me deu toda atenção e informação necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Gratidão pelos 8 anos nesta instituição que me trouxe conquistas, bons momentos e várias alegrias.

RESUMO

A batata é a terceira cultura alimentar mais importante do mundo, por ser rica em carboidratos, vitaminas e minerais. Para se obter uma boa produtividade, a cultura requer climas mais amenos, por ser originada nos Andes, e dias mais curtos, o que favorece sua tuberização. O uso do monitoramento remoto das culturas vem crescendo cada vez mais, possibilitando precisão e rapidez nos resultados, visto que a batata é afetada pelo seu grande número de pragas e doenças, principalmente na fase de tuberização. Os índices de vegetação são a combinação de uma ou mais bandas que evidenciam uma característica de interesse que podem auxiliar no monitoramento de pragas e doenças, assim como na avaliação de condições hídricas da planta. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo principal verificar a correlação dos diferentes índices de vegetação obtidos no espectro do visível com a produtividade da cultura da batata. O experimento foi conduzido no Setor de Olericultura do IFMG - *Campus Bambuí*, utilizando-se 44 clones diferentes de batata, em parceria com a UFPA. O espaçamento empregado foi de 0,80 metros entre linhas e 0,30 metros entre plantas, formando 156 parcelas. Foram adquiridas imagens aéreas semanalmente a partir do plantio, durante 9 semanas, com o uso de um veículo aéreo não tripulado. Essas imagens foram georreferenciadas, extraindo-se quatro índices de vegetação de cada uma delas (MPRI, IKAW, MGRVI e RGBVI) com o emprego do SIG QGIS. Para cada data de coleta de imagens, foi calculada a média dos índices dentro de cada parcela, correlacionada com a produtividade. Todos os índices avaliados neste trabalho, com exceção do RGBVI, apresentaram maiores valores de correlação no auge da tuberização. O estágio fenológico da batata que apresentou maiores correlações entre a produtividade e os índices de vegetação obtidos por imagens aéreas na região visível foi a tuberização.

Palavras-chave: Geotecnologia. Sensoriamento remoto. Imagens RGB. Horticultura.

ABSTRACT

The potato is the third most important food crop in the world due to its richness in carbohydrates, vitamins, and minerals. To achieve good productivity, the crop requires milder climates, as it originated in the Andes, and shorter days which favor its tuberization. The use of remote monitoring of crops has been increasingly growing due to its precision and speed in results, given that the potato is affected by a large number of pests and diseases, especially during the tuberization phase. Vegetation indices are the combination of one or more bands that highlight a characteristic of interest, which can aid in monitoring pests and diseases, as well as, assessing the plant's water conditions. Therefore, the main objective of this study is to verify the correlation of different vegetation indices obtained in the visible spectrum with the productivity of potato crops. The experiment was conducted at the Horticulture sector of IFMG-campus Bambuí, using 44 different clones of potatoes in partnership with UFLA, where the spacing used was 0.80 meters between rows and 0.30 meters between plants, forming 156 plots. Aerial images were acquired weekly from planting, for 9 weeks, using an unmanned aerial vehicle. These images were georeferenced, and from them, four vegetation indices from each of them (MPRI, IKAW, MGRVI, and RGBVI) were extracted using GIS QGIS. For each image collection date, the average of the indices within each plot was calculated and correlated with productivity. All the indices evaluated in this study, with the exception of RGBVI, showed higher correlation values at the peak of tuberization. The potato's phenological stage that presented higher correlations between productivity and the vegetation indices obtained from aerial images in the visible region is tuberization.

Keywords: Geotechnology. Remote sensing. RGB images. Horticulture.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO GERAL	2
	Objetivos específicos	2
3.	REVISÃO DE LITERATURA	2
	Aspectos gerais da batata	2
	Sensoriamento remoto na agricultura	4
	Tipos de sensores	4
	Uso de veículos aéreos não tripulados (vants) no sensoriamento remoto.....	5
	Índices de vegetação	5
	Uso de vants na agricultura	6
4.	MATERIAL E MÉTODOS	7
	Localização do experimento	7
	Imagens aéreas	8
	Índices de vegetação	10
	Colheita	11
	Análise de dados	12
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
	Produção da batata	12
	Análise de correlação dos dados	15
6.	CONCLUSÃO	18
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

A batata é originária da América do Sul, mais especificamente da Cordilheira dos Andes, sendo uma planta dicotiledônea com hastes herbáceas e caule aéreo (ABBA, 2009). Em seu estado natural, pode ser cultivada durante todo o ano, com três plantios distintos, correspondentes às estações de inverno, águas e seca. Cada um desses plantios possui seu próprio fotoperíodo, precipitação e temperatura, que exercem influência no metabolismo da planta e podem afetar sua capacidade de formação de tubérculos, desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, produtividade.

A cultura da batata, assim como todas as demais, tem um elevado número de pragas e doenças que atacam em determinadas fases, tanto na parte aérea quanto nos tubérculos, causando grandes perdas de produtividade. Em sua maioria, a fase que mais ocasiona esses ataques é a tuberização, visto que a planta está expressando seu maior vigor vegetativo e produzindo seus tubérculos (SALAS, 2017).

Diversas tecnologias têm sido estudadas para aumentar a precisão na avaliação do estado hídrico das áreas de cultivo, assim como no monitormaneto de pragas e doenças, dentre elas, o sensoriamento remoto. A vegetação apresenta um comportamento espectral em suas folhas e ramificações, tanto em plantas individuais quanto em grupos de plantas (PONZONI, SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Além disso, elementos de fundo, como sombras, solo e água, também tiveram o comportamento espectral. Esse comportamento está relacionado aos processos que ocorrem nas folhas, como transpiração, respiração e fotossíntese. Portanto, a análise da folha é considerada a mais importante, e a resposta recebida pelos sensores é baseada na energiarefletida, recebida e transmitida pela planta.

Dentro do sensoriamento remoto na agricultura, os índices de vegetação desempenham um papel fundamental na classificação da cobertura vegetal da cultura, de maneira qualitativa e quantitativa. Esses índices são obtidos por meio da combinação de duas ou mais bandas espectrais que destacam características de interesse (JORGE; INAMASU, 2014).

Com a modernização dos sensores, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido utilizados para estimar a biomassa e produtividade, monitorar o estresse hídrico e o vigor das plantas, bem como avaliar os estágios fenológicos da cultura (BRANDÃO, 2009). A alta resolução espacial das imagens, a flexibilidade na frequência de coleta e a disponibilização quase em tempo real das informações (JANNOURA *et al.*, 2015) têm aumentado a demanda dos produtores pela aquisição de imagens de sensoriamento remoto.

Dentro do sensoriamento remoto na agricultura, os índices de vegetação desempenham um papel fundamental na classificação da cobertura vegetal da cultura, de maneira qualitativa e quantitativa. Esses índices são obtidos por meio da combinação de duas ou mais bandas espectrais que destacam características de interesse (JORGE; INAMASU, 2014). Porém, o uso de câmeras multiespectrais torna o custo ainda relativamente elevado, exigindo pesquisas mais avançadas que possibilitem o uso dos VANTs com câmeras que capturem a reflectância somente nas bandas do visível (vermelho, verde e azul) e o emprego de índices de vegetação baseados nessas bandas, para extrair informações dos parâmetros agronômicos que afetem a produtividade da cultura da batata.

2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como principal objetivo verificar a correlação de quatro índices de vegetação, obtidos por meio da combinação das bandas do espectro do visível, com a produtividade da cultura da batata.

Objetivos específicos

- Determinar qual índice de vegetação possui maior correlação com a produção da batata;
- Identificar qual estágio fenológico da batata é mais indicado para a obtenção de imagens aéreas que melhor se correlacionam com a produtividade.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Aspectos gerais da batata

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é nativa da América do Sul, na Cordilheira dos Andes, onde era adaptada aos dias curtos da região. Em 1570, foi introduzida na Europa, que, com seus dias longos, fez a adaptação da cultura, o que provocou uma maior tuberização. Em 1620, foi introduzida na América do Norte, tendo grande aceitação. Tem sido cultivada por indígenas há mais de oito milênios, e hoje é um dos produtos mais difundidos em todo o mundo (CASTRO e PEREIRA, 2008).

No Brasil, ela foi introduzida pelos europeus no final do século XIX, servindo de alimento para os colonos até o final do século; porém, somente na década de 1920, teve sua crescente escala de produção no estado de São Paulo (MIRANDA FILHO & FELTRAN, 2009). O Brasil produziu cinco vezes mais na primeira década do século 21, quando comparado à década de 1940, chegando à média de 3 mil toneladas, enquanto a área cultivada aumentou de 114 mil hectares, na década de 1940, para 147 mil (PEREIRA, 2011). Na década de 1990, a industrialização da batata teve grande aumento devido à origem da batata “chips” e, posteriormente, da batata palha. Mais tarde, em 2006, começou a grande produção de batata palito congelada, diminuindo a exportação, que, em 2010, chegou a 200 mil toneladas (PEREIRA, 2011).

A batata é uma dicotiledônea que produz hastes herbáceas e caule aéreo, onde se encontram seus folíolos, que compõem as folhas, e suas flores hermafroditas. Ela possui raízes de absorção e estolões, que são as estruturas onde o tubérculo é encontrado (FONTES, 2005).

Sendo a terceira cultura alimentar mais importante do Planeta e a primeira *commodity* que não é um grão, a batata tornou-se a hortaliça mais importante do Brasil, com uma produção de 3 milhões de toneladas e uma área de 120 mil hectares (EMBRAPA, 2022). Além de ser uma fonte rica em carboidratos, também possui vitaminas e sais minerais, o que a torna um alimento nutritivo e importante.

Por ter sido originária nos Andes, de clima frio e altas altitudes, a batata requer temperaturas amenas para sua tuberização, não podendo ultrapassar 25° C. As temperaturas noturnas também são essenciais na tuberização, necessitando estar entre 10° e 16° celsius. Os dias mais longos favorecem sua floração, e os dias mais curtos, sua tuberização (SOUZA, 2003).

Souza (2003) observou que, quando cultivada em regiões mais tropicais, há um aumento da parte aérea e do número de folhas, mas estas têm menor longevidade e as hastes são reduzidas. O crescimento radicular também é menor, acarretando a produção de tubérculos que também diminuem consideravelmente.

Existem três épocas de plantio na Região Sudeste do Brasil - uma delas é a chuvosa. Realizada nos meses de setembro a novembro, o plantio das águas é um dos mais utilizados, pelo fato de se dispensar o uso de irrigação. Porém, há uma certa dificuldade na colheita e um maior desenvolvimento de parte aérea. O outro plantio a ser efetuado é o das secas, de fevereiro a abril. Em seu início, os dias longos e o fotoperíodo elevado favorecem o desenvolvimento da parte aérea. Com o passar dos dias, a temperatura e o fotoperíodo diminuem, favorecendo a tuberização, sendo que, muitas vezes, é necessária uma irrigação complementar. E, por último, o plantio de inverno, de maio a julho, com suas temperaturas baixas, as quais favorecem bastante a tuberização, mas não o desenvolvimento da parte aérea. Neste caso, é necessário realizar a irrigação (ABBA, 2009).

Sensoriamento remoto na agricultura

O sensoriamento remoto teve início com a invenção da câmera fotográfica, vastamente utilizado pelos militares. Relata-se que colocavam câmeras com sensoriamento em pombos-correio, os quais eram direcionados para determinados locais, passando pelas posições onde o inimigo se encontrava, sendo vários deles mortos no caminho, mas alguns conseguindo obter imagens de grande valor informativo. Posteriormente, foram substituídos por balões e aviões não tripulados (FIGUEIREDO, 2005).

Atualmente, o sensoriamento na agricultura tem o papel de suprir as informações sobre os aspectos gerais da cultura e também do solo, incluindo fatores abióticos e condições da planta (PIRES *et al.*, 2004).

Tipos de sensores

Existem diversos tipos de sensores que são sensibilizados pela energia refletida pelos alvos na superfície terrestre. Os sensores que operam na região do visível são capazes de mostrar as falhas existentes nas lavouras, alterações no estande, dentre outras funções, dependendo da lente e do voo. Já os sensores que operam da região do infravermelho próximo, geralmente, trocam o filtro na região do azul, normalmente presente na câmera do espectro visível (RGB), para o realce das informações contidas nessa região do espectro eletromagnético (JORGE; INAMASU, 2014).

O princípio de funcionamento do sensor é de acordo com as bandas de absorção da radiação pelas plantas, relacionado aos seus pigmentos, como a clorofila e suas características (JENSEN, 2009). O comprimento de onda entre 700 e 1300 nm é onde ocorre alta reflectância pela vegetação, que sofre interferência de acordo com o tamanho das células, espaços intercelulares e estrutura interna da célula (SHANAHAN *et al.*, 2008).

VANTS no sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto caracteriza-se pela obtenção de informações de um determinado objeto, muitas vezes, a longas distâncias, sem entrar em contato físico com ele. As primeiras medições por sensoriamento remoto eram feitas através de câmeras acopladas em aviões, balões ou outro tipo de objeto voador. Hoje, são utilizados satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados, aviões etc. (SHOZO *et al.*, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA), a definição de veículo aéreo não tripulado (VANTS) é: “um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo” (JORGE; INAMASU, 2014). Os VANTS só começaram a ser utilizados no Brasil na década de 1980, pelo Centro Tecnológico Aeroespacial, por meio do projeto Acauã, que tinha fins militares, o qual foi desativado e depois reativado pelo governo para incentivar seu uso (JORGE; INAMASU, 2014). Os VANTS são compostos por uma estação de controle que fica em solo, o *Ground Control Station* (GCS), que é de onde se acompanham todo o processo remotamente e a área a ser georreferenciada com a posição dos VANTS (JORGE; INAMASU, 2014).

Existem diferentes sensores que são utilizados nos VANTS, como os multiespectrais, que possuem bandas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, cobrindo a faixa do infravermelho próximo, visível, termal e médio (SHOZO *et al.*, 2014). O RGB é um sensor que determina uma cor em função de três componentes primários, sendo eles vermelho (do red - R), verde (do green - G) e azul (do blue - B). Podem ser descobertas várias informações por meio desse sensoriamento, como: estimativa de biomassa e produtividade da cultura, monitoramento de estresse hídrico, vigor de plantas e avaliação dos estádios fenológicos da cultura (BRANDÃO, 2009).

Índices de vegetação

O comportamento da vegetação é influenciado por suas folhas, de uma planta única ou de um conjunto de várias plantas, considerando-se também os fatores de fundo, como solo, água e sombras (PONZONI, SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Contudo, o comportamento das folhas em relação à coloração esverdeada diz respeito a muitos processos que ocorrem na planta, como a fotossíntese, transpiração e respiração (MOREIRA, 2004).

As características espectrais da vegetação estão correlacionadas ao comprimento de onda do fluxo de radiação eletromagnética incidente, e sua resposta pelos sensores é em função do fluxo de energia radiante refletida (reflectância), absorvida (absortância) e transmitida (transmitância). A reflectância é definida com a radiação refletida e a radiação incidente em razão do fluxo entre ambas (JENSEN, 2009).

Uso de VANTs no monitoramento da batata

O uso de VANTs tem se tornado uma ferramenta cada vez mais valorizada na agricultura moderna. Esses dispositivos, autônomos, com câmeras e sensores avançados, são capazes de fornecer informações precisas e em tempo real sobre as condições das plantações. Os VANTs permitem a coleta de dados de forma rápida e eficiente, permitindo aos controles monitorar áreas extensas de cultivo de maneira mais detalhada do que seria possível por meios tradicionais. Com o sensoriamento remoto, os VANTs podem capturar imagens de alta resolução e realizar mapeamento da vegetação, detecção de doenças, análise de estresse hídrico e até mesmo identificação de pragas (VIANA, L. A. *et al.*, 2018).

Os VANTs têm desempenhado um papel significativo no monitoramento da cultura da batata. Essas aeronaves, equipadas com sensores de imagem e tecnologias avançadas, permitem o acompanhamento preciso e detalhado do desenvolvimento das plantas de batata ao longo de diferentes estágios do ciclo de crescimento. As imagens de alta resolução fornecem informações valiosas sobre a saúde das plantas, a distribuição de biomassa e a detecção precoce de estresses ou doenças. Com base nessas imagens, os agricultores podem identificar áreas problemáticas, como regiões com deficiência de nutrientes, infestações de pragas ou doenças em estágio inicial (LEÓN-RUEDA *et al.*, 2022).

Além disso, os VANTs podem coletar dados sobre a cobertura vegetal da cultura da batata, permitindo uma análise mais precisa da densidade de plantas, espaçamento adequado e taxa de crescimento. Essas informações auxiliam os agricultores no planejamento de práticas de manejo, como a aplicação precisa de fertilizantes e defensivos agrícolas, visando otimizar o crescimento das plantas e maximizar a produtividade. O uso de VANTs no monitoramento da cultura da batata proporciona uma visão abrangente e em tempo real do campo, possibilitando uma tomada de decisão mais precisa e assertiva. Com essas informações, os agricultores podem implementar estratégias de manejo personalizadas, monitorar o progresso da cultura e realizar intervenções oportunas, resultando em um cultivo mais eficiente, redução de custos e melhor qualidade dos tubérculos de batata colhidos (MARTINS *et al.*, 2023).

Em um estudo usando VANTs e a fisiologia da cultura da batata para determinar, com precisão, o início do período de tuberização, Martins *et al.* (2023) descobriram que foi possível determinar esse período com base na dinâmica de crescimento da cultura, independentemente das variações climáticas, localização no campo ou sistema de irrigação. Em outro estudo, León-Rueda *et al.* (2022) relataram uma abordagem do uso de câmeras multiespectrais acopladas a VANTs como uma ferramenta com potencial para a detecção de doenças e distúrbios fisiológicos em cultivos da batata comercial (*Solanum tuberosum*).

4. MATERIAL E MÉTODOS

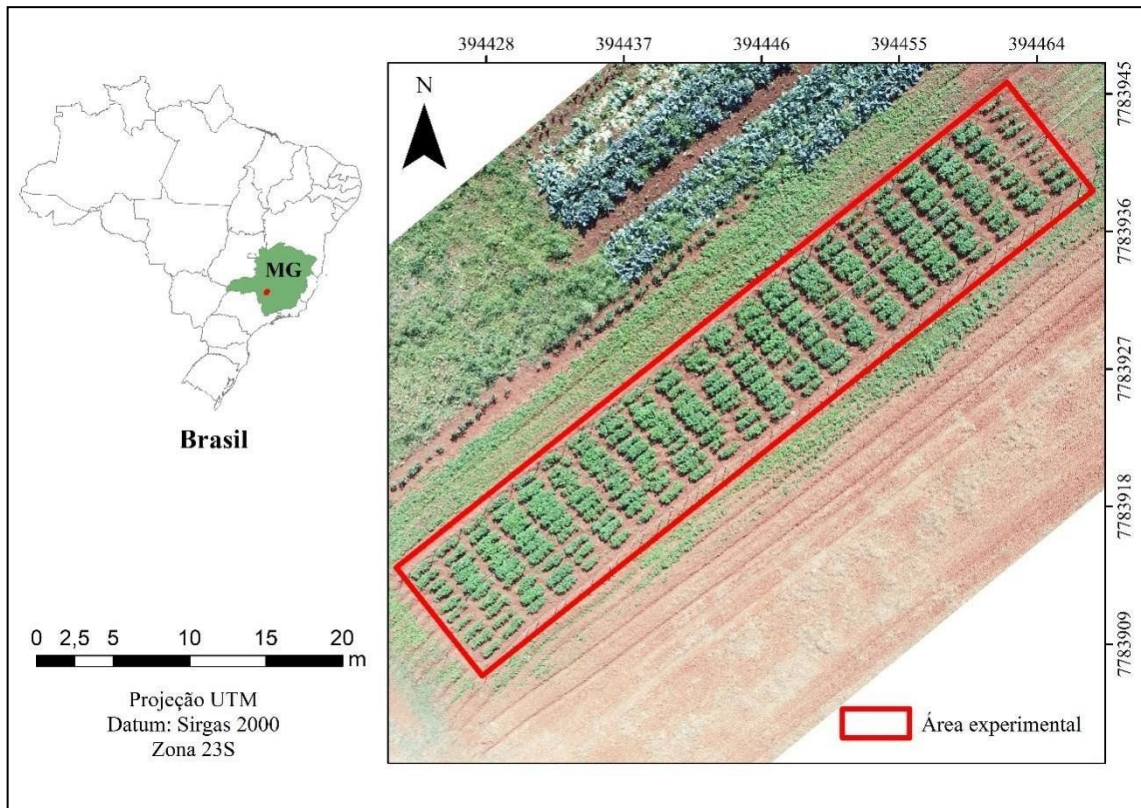
Localização e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí, Fazenda Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05, Bambuí - MG, no Setor de Olericultura (Figura 1). O experimento foi conduzido por estudantes da Agronomia deste *Campus*, em parceria com a Universidade Federal de Lavras – UFLA, usando clones do programa de melhoramento genético da universidade, visando à produção de batata chips.

A região em que o experimento foi realizado apresenta alta sazonalidade climática, sendo que as estações de baixas e altas pluviosidades estão bem definidas. A estação seca ocorre entre os meses de abril e outubro, sendo que os meses de junho, julho e agosto são os de menor precipitação pluviométrica. O período de maior índice pluviométrico ocorre entre agosto e março, sendo os meses de novembro e dezembro os mais chuvosos (OLIVEIRA, 2007).

O plantio foi realizado no dia 27 de abril de 2022, juntamente com a primeira adubação, utilizando-se o tubérculo-semente de 44 clones diferentes. O espaçamento utilizado foi de 0,80 m entre linhas e 0,30 m entre plantas, com 5 plantas por parcela, formando 156 parcelas. Um mês após o plantio, no dia 27 de maio, efetuou-se a primeira amontoa, juntamente com a primeira adubação de cobertura.

Figura 1 – mapa de localização da área experimental



Fonte: Autora (2023).

Imagens aéreas

Para obtenção das imagens aéreas, foi utilizado um VANT, modelo DJI phantom 4 pro, com câmera digital integrada, com sensor CMOS de 1" e 20 MP, de propriedade do IFMG – *Campus* Bambuí. Esse sensor fornece uma única imagem que combina as três bandas do visível (R, G e B).

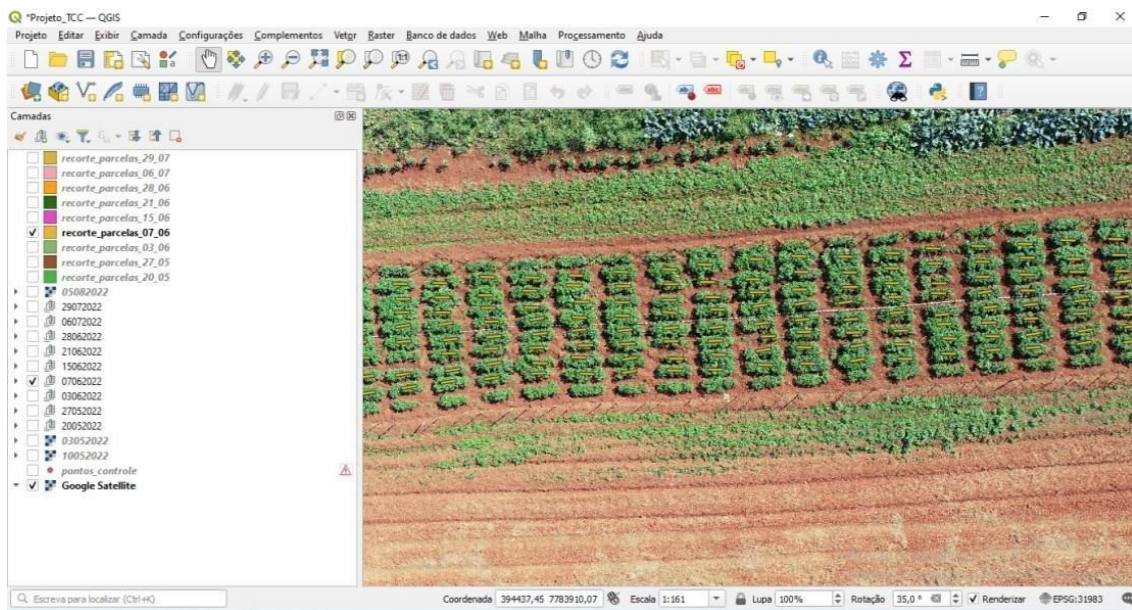
Semanalmente, a partir da pré-emergência da cultura até o início da maturação, foram tomadas as imagens aéreas, coletadas por volta de 11 horas da manhã, para se ter melhor visibilidade das imagens e evitar a influência de sombras. Algumas dessas imagens não foram utilizadas nas análises deste trabalho devido à falta de vegetação, como em sua brotação e na sua maturação final. Para visualização total e perfeita de todas as parcelas experimentais, o VANT foi elevado a uma altura de cerca de 20 metros.

Foram coletados os pontos de controle utilizando o posicionamento cinemático em tempo real, RTK, relativo ao GNSS, onde todas as imagens foram georreferenciadas a partir

desses pontos.

Para o processamento das imagens, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas Qgis, no qual foram importadas as imagens do VANT e as coordenadas geográficas, para georreferenciamento das imagens. Foi criada uma máscara para recorte do raster em cada imagem, centralizada na parcela, de tamanho 0,80 m por 0,15 m, devidamente identificadas com seu número, para correlacioná-las nas diferentes datas, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Imagem georreferenciada com a máscara de recorte na data 07/06



Fonte: Autora (2023).

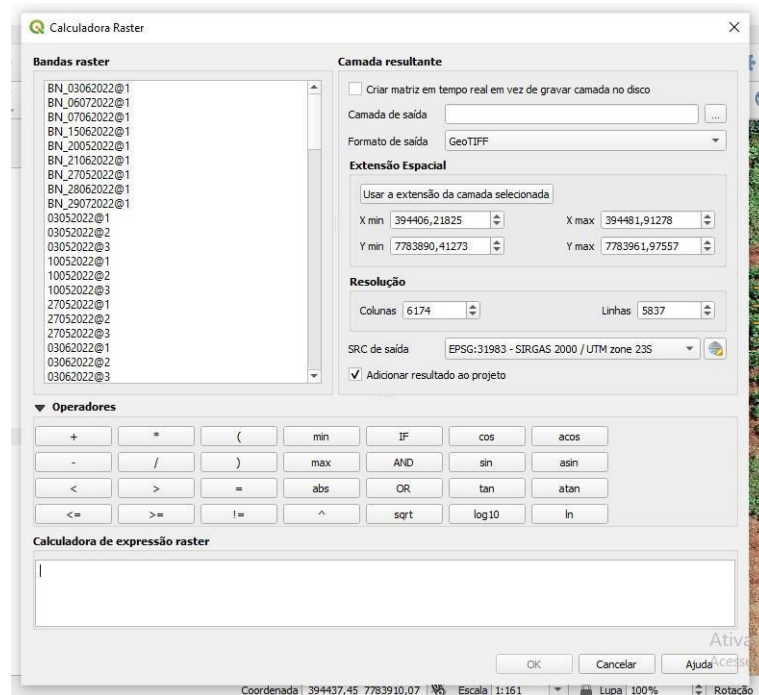
Para o processamento das imagens, foi utilizado o software Qgis. Inicialmente, foram importadas as imagens capturadas pelo VANT durante o desenvolvimento da cultura, assim como as coordenadas geográficas coletadas com o aparelho RTK, para georreferenciação das imagens. Após as imagens georreferenciadas, foi utilizada a ferramenta calculadora raster (Figura 3) para normalização das bandas RGB de cada imagem, utilizando, respectivamente, as Equações (1), (2) e (3).

$$RN = \frac{R}{(R + G + B)} \quad 1$$

$$GN = \frac{G}{(R + G + B)} \quad 2$$

$$BN = \frac{B}{(R + G + B)}$$

Figura 3 – Calculadora raster



Fonte: Autora (2023).

Índices de vegetação

Após a normalização das bandas RGB no software Qgis Hannover utilizando novamente a ferramenta calculadora raster, foram gerados os índices de vegetação apresentados na Tabela 1, extraídos da combinação das bandas do visível, obtidos das imagens do VANT, onde ρ_R corresponde à reflectância normalizada na banda do vermelho; ρ_G , a reflectância normalizada na banda do verde; e ρ_B , a reflectância normalizada na banda do azul. O valor do índice de cada parcela foi obtido com a média de todos os pixels dentro da máscara de recorte.

Tabela 1 - Detalhamento dos índices de vegetação extraídos das imagens VANT

Equação	Índice de Vegetação	Descrição da equação	Referência
4	Modified Photochemical Reflectance Index	$MPRI = \frac{(\rho G - \rho R)}{(\rho G + \rho R)}$	(LI; LI; SUN, 2014)
5	Modified Green Red Vegetation Index	$MGRVI = \frac{(\rho G^2 - \rho R^2)}{(\rho G^2 + \rho R^2)}$	(BENDIG et al., 2015)
6	Red Green Blue Vegetation Index)	$RGBVI = \frac{\rho G^2 - (\rho B \cdot \rho R)}{\rho G^2 + (\rho B \cdot \rho R)}$	(BARETH et al., 2016; BENDIG et al., 2015)
7	(Kawashima Index	$IKAW = \frac{(\rho R - \rho B)}{(\rho R + \rho B)}$	(KAWASHIMA; NAKATANI, 1998)

Colheita

A colheita do experimento foi realizada com o uso de enxada pelos alunos voluntários, e cada parcela foi colhida separadamente e armazenada em sacos, previamente identificados (Figura 4). Após isso, eram levados para a área de pesagem, onde cada parcela foi pesada e registrada, para obtenção de produtividade final (Figura 5).

Figura 4 – Colheita da batata



Figura 5 – Área de pesagem das batatas



Fonte: Autora (2023).

Análise de dados

Foram geradas as estatísticas dos índices de vegetação, em que se extraiu a média para cada índice, em cada data e parcela. Além disso, os valores dos índices de vegetação foram submetidos a uma análise de correlação de Pearson (r) com a produtividade da cultura, nas datas analisadas, a fim de identificar qual a data com melhor resposta espectral para a coleta das imagens e identificar o índice de vegetação que apresentou a melhor resposta da biomassa da cultura. Os valores de correlação foram classificados conforme o critério proposto por Dancey e Reidy (2006), onde valores 0,3 positivos ou negativos indicam baixa correlação; valores 0,3 e 0,7, positivos ou negativos, indicam correlação moderada; e valores acima de 0,7, positivos ou negativos, apontam forte correlação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtividade da batata

Na Tabela 2, são apresentados os valores de produção, em gramas, de cada parcela e a produtividade, em quilogramas, por hectare. Cada parcela tinha 1,5 m de comprimento e 0,50 m de largura, resultando em uma área de 0,75 m². A produção foi dividida pela área da parcela, resultando na produtividade, sendo que a parcela 131 não foi avaliada.

Tabela 2 – Produção e produtividade de cada parcela analisada

Parcelas	Produção(g)	Produtividade (kg.ha⁻¹)	38	1980	26399,34
1	6380	85064,54	39	6220	82931,26
2	6100	81331,3	40	700	9333,1
3	6780	90397,74	41	7320	97597,56
4	980	13066,34	42	3660	48798,78
5	2020	26932,66	43	8500	113330,5
6	4260	56798,58	44	3020	40265,66
7	3280	43732,24	45	2900	38665,7
8	2680	35732,44	46	6180	82397,94
9	6800	90664,4	47	2900	38665,7
10	4020	53598,66	48	3880	51732,04
11	5960	79464,68	49	9460	126130,18
12	9480	126396,84	50	3240	43198,92
13	3900	51998,7	51	5060	67464,98
14	8060	107463,98	52	8880	118397,04
15	5100	67998,3	53	2220	29599,26
16	6860	91464,38	54	5820	77598,06
17	6240	83197,92	55	3740	49865,42
18	9340	124530,22	56	10640	141863,12
19	2660	35465,78	57	7440	99197,52
20	8500	113330,5	58	4320	57598,56
21	2640	35199,12	59	8700	115997,1
22	9280	123730,24	60	5780	77064,74
23	6580	87731,14	61	7840	104530,72
24	8540	113863,82	62	6620	88264,46
25	8040	107197,32	63	5980	79731,34
26	7460	99464,18	64	7140	95197,62
27	4580	61065,14	65	8700	115997,1
28	6440	85864,52	66	4280	57065,24
29	6760	90131,08	67	2700	35999,1
30	5960	79464,68	68	5620	74931,46
31	3320	44265,56	69	7080	94397,64
32	6440	85864,52	70	3360	44798,88
33	6260	83464,58	71	8780	117063,74
34	6420	85597,86	72	6300	83997,9
35	6040	80531,32	73	6460	86131,18
36	5940	79198,02	74	780	10399,74
37	4800	63998,4	75	4300	57331,9

76	5900	78664,7	119	5720	76264,76
77	6960	92797,68	120	5400	71998,2
78	6900	91997,7	121	4220	56265,26
79	5200	69331,6	122	2600	34665,8
80	8860	118130,38	123	700	9333,1
81	5880	78398,04	124	5960	79464,68
82	4000	53332	125	5360	71464,88
83	1400	18666,2	126	5620	74931,46
84	5100	67998,3	127	7320	97597,56
85	7120	94930,96	128	6200	82664,6
86	4880	65065,04	129	9740	129863,42
87	1980	26399,34	130	4120	54931,96
88	7140	95197,62	131	Não avaliada	
89	7920	105597,36	132	6180	82397,94
90	5060	67464,98	133	6180	82397,94
91	8280	110397,24	134	5420	72264,86
92	5960	79464,68	135	5540	73864,82
93	6160	82131,28	136	5860	78131,38
94	5160	68798,28	137	4000	53332
95	7280	97064,24	138	8160	108797,28
96	2060	27465,98	139	3060	40798,98
97	5240	69864,92	140	7280	97064,24
98	6800	90664,4	141	4860	64798,38
99	2820	37599,06	142	7600	101330,8
100	4360	58131,88	143	4120	54931,96
101	7620	101597,46	144	10080	134396,64
102	3820	50932,06	145	5160	68798,28
103	7880	105064,04	146	2400	31999,2
104	1840	24532,72	147	3860	51465,38
105	8620	114930,46	148	10600	141329,8
106	4380	58398,54	149	5560	74131,48
107	4540	60531,82	150	3200	42665,6
108	8440	112530,52	151	6560	87464,48
109	4040	53865,32	152	6460	86131,18
110	5260	70131,58	153	6200	82664,6
111	4760	63465,08	154	4860	64798,38
112	4000	53332	155	6820	90931,06
113	4980	66398,34	156	5420	72264,86
114	4460	59465,18			
115	4220	56265,26			
116	5220	69598,26			
117	3100	41332,3			
118	6540	87197,82			

Com base nos dados de produtividade, em cada parcela, foi realizada uma análise descritiva, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo do coeficiente de variação, valores mínimo e máximo e o intervalo

Medidas estatísticas	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)
Média	74315,56
Mediana	77064,74
Máximo	141863,12
Mínimo	9333,10
Coeficiente de Variação (%)	38,3

Conforme se espera de experimentos onde são controladas a adubação e a disponibilidade de água, a produtividade média encontrada neste estudo ficou acima da produtividade média brasileira, que está em torno de 40 mil kg.ha⁻¹ (CONAB, 2021). Além disso, o coeficiente de variação, de 38,3%, foi considerado alto, segundo GOMES (1982), pois dá uma ideia da precisão do experimento. O valor alto do coeficiente de variação e a baixa produtividade da batata podem ter sido ocasionados pelo cultivo de 44 clones diferentes, subdivididos em 156 parcelas.

Resultados parecidos foram apresentados em um trabalho conduzido por CARMONA *et al.* (2015) utilizando 23 genótipos de batata-doce, onde se obtiveram 31% de coeficiente de variação. Em um trabalho conduzido com 14 clones de batatas, Cavalcante *et al.* (2012) identificaram grandes diferenças nas produtividades, concluindo que cada clone se adapta melhor em uma determinada região e ambiente. Já Bisognin *et al.* (2008) obtiveram um baixo coeficiente de variação na produtividade com quatro clones de batata, variando entre 16 e 25%, indicando boa precisão do experimento. Também, Costa *et al.* (2007) encontraram baixa variância na produtividade, de 27%, onde o autor utilizou 8 clones diferentes de batata, cultivados em três safras.

Análise de correlação dos dados

Para cada data de obtenção de imagens, os valores de índices de vegetação foram submetidos a uma análise de correlação com o peso de cada parcela. A Tabela 4 apresenta esses valores.

Tabela 4 – Correlação entre o peso e os índices de vegetação, em cada data de coleta das imagens, na cultura da batata

DIAS APÓS O PLANTIO (DAP)	MPRI	IKAW	MGRVI	RGBVI
23	0,1227	0,2851	0,1266	0,1227
30	0,4052	0,4634	0,4007	0,3366
37	0,4977	0,5152	0,5068	0,3380
41	0,4669	0,4466	0,4950	0,3600
49	0,1293	0,2195	0,1844	0,0727
55	0,2496	0,3405	0,2861	0,0943
62	0,3658	0,2327	0,3872	0,3826
70	0,3791	0,2202	0,3121	0,4294
91	0,2632	0,1714	0,2644	0,3375

O índice MPRI apresentou seu maior valor de correlação (0,4977) na data 03/06/2022. Neste dia, a cultura estava no período de tuberização, que corresponde ao maior vigor vegetativo da cultura. LINHARES *et al.* (2017) concluíram, em seu trabalho com soja, que o índice MPRI é o melhor indicador vegetativo com relação à vegetação e ao solo.

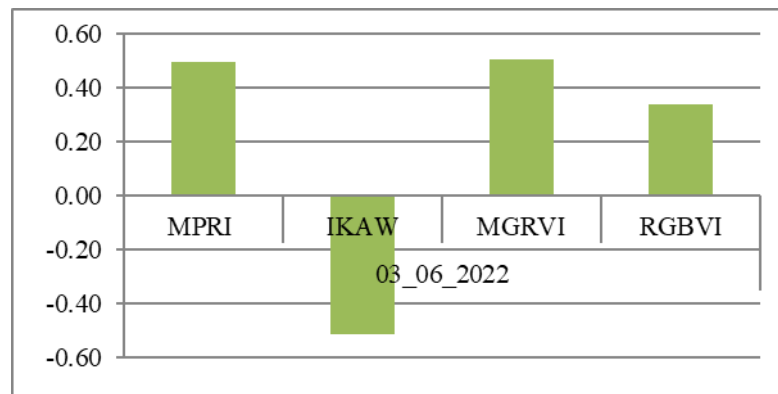
Também, o índice IKAW, 37 DAP apresentou maior valor em módulo, correspondente ao estágio de tuberização da batata. KAWASHIMA (1998) mostrou, em seu trabalho, que o índice IKAW é a função que melhor se aplica para se usar os dados em condições meteorológicas diversas.

Assim como no MPRI, o índice MGRVI apresentou seu maior valor de correlação com a produtividade em 37 DAP. AZEVEDO *et al.* (2022) obtiveram, em seu trabalho, valores próximos de correlação entre produtividade da seringueira e os índices MPRI e MGRVI. No presente trabalho, este mesmo índice revelou uma única correlação negativa, em 70 DAP, que corresponde ao final da tuberização e início do florescimento e crescimento dos tubérculos. O índice MGRVI usa as bandas do verde e vermelho e, no período supracitado, o dossel da cultura estava em fase de transição do verde intenso, correspondente à tuberização, para o florescimento, onde a cultura já entra em fase de senescência da parte aérea, o que pode ter gerado o valor de correlação negativo.

O índice RGBVI evidenciou seu maior valor de correlação no estágio de maturação e senescência da cultura. Apesar de variar muito no decorrer do ciclo, em 70 DAP, a correlação apresentou seu maior valor.

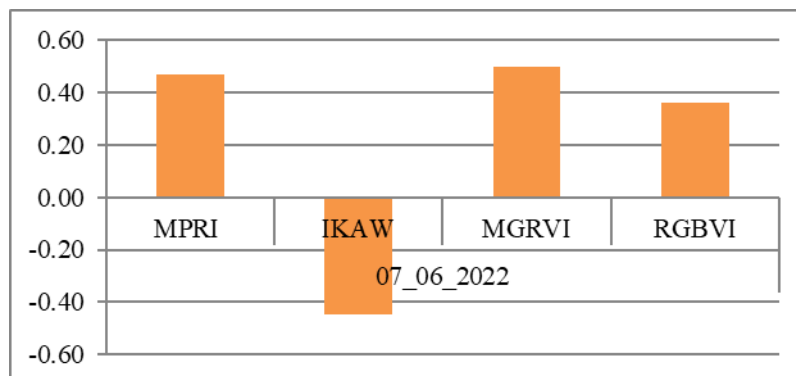
Com exceção do índice RGBVI, que teve maior correlação no final do estágio fenológico 62 e 70 DAP, os demais índices obtiveram valores maiores de correlação 37 e 40 DAP, que correspondem ao estágio 3, de maior vigor vegetativo da cultura, na tuberação da batata. Nas Figuras 6, 7, 8 e 9, é possível observar esse comportamento. De acordo com Dancey e Reidy (2006), o coeficiente indicou uma baixa correlação entre a produtividade e os índices de vegetação.

Figura 6 – Correlação entre peso da batata e os índices de vegetação 37 DAP.



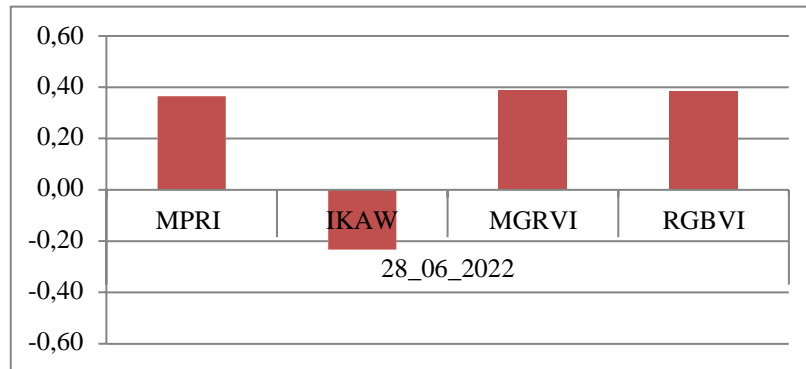
Fonte: Autora (2023).

Figura 7 – Correlação entre o peso da batata e os índices de vegetação 41 DAP.



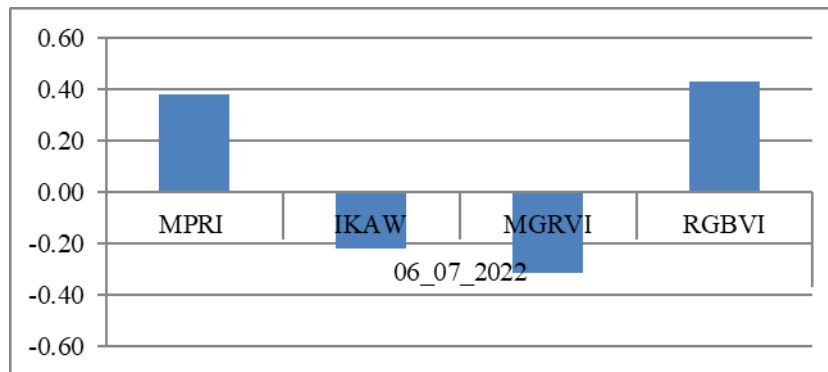
Fonte: Autora (2023).

Figura 8 – Correlação entre o peso da batata e os índices de vegetação 62 DAP.



Fonte: Autora (2023).

Figura 9 – Correlação entre o peso da batata e os índices de vegetação 70 DAP.



Fonte: Autora (2023).

Na literatura, não foram encontrados trabalhos para fins comparativos na cultura da batata, mas SILVA *et al.* (2019) obtiveram, em seu trabalho, correlações entre produção e índices de vegetação muito próximas, na cultura do algodoeiro. De 60 a 90 dias após o plantio, a correlação entre a produtividade e os índices de vegetação foi de 0,52, e, no período de 0 a 180 dias após o plantio, 0,51.

6. CONCLUSÃO

Todos os índices avaliados neste trabalho, com exceção do RGBVI, apresentaram maiores valores de correlação no auge da tuberização.

Os índices MPRI, IKAW e MGRVI apresentaram valores bem próximos de correlação com a produtividade da batata, sendo o IKAW o que obteve maior valor.

O estágio fenológico da batata que apresentou maiores correlações entre a produtividade e os índices de vegetação, obtidos por imagens aéreas na região visível, foi a tuberização.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA- Associação Brasileira da Batata. A oferta de batata no Brasil, 2009. Disponível em: <http://abbabatatabrasileira.com.br/revista11_020.htm>
Acesso em: 01 de julho de 2023.

AZEVEDO, Hellen Cássia Rodrigues de et al. **Modelos locais de produção de látex em seringueira utilizando variáveis dendométricas e de sensoriamento remoto.** 2022.

BARETH, G. et al. Comparison of uncalibrated rgbvi with spectrometer-based ndvi derived from uav sensing systems on field scale. **Isprs - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLI-B8, n. 8, p. 837–843, 2016.

BENDIG, J. et al. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79–87, 2015.

BISOGNIN, Dilson Antônio et al. Desenvolvimento e rendimento de clones de batata na primavera e no outono. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 699-705, 2008.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto.** 2009.. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CARMONA, P. A. O. et al. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando descritores morfoagronômicos das raízes. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 241-250, 2015.

CAVALCANTE, J. T.; FERREIRA, P. V.; SOARES, L.. Correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), Rio Largo- Alagoas. [TESTE] **Revista Ciência Agrícola**, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2012.

CASTRO, C. M.; PEREIRA, A. da S. Mapeamento por associação em plantas: conceitos básicos e perspectivas de uso no melhoramento de batata. 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Batata, cebola e tomate:** caracterização da produção e da comercialização na Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Distrito Federal e Entorno – Ride-DF. Brasília, DF: Conab, 2021. 29 p. (Compêndio de Estudos Conab, v. 28).

COSTA, L. C. et al. Identificação de clones de batata com potencial para mesa e adaptados para os cultivos de outono e primavera do Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, p. 93-104, 2007.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia:** usando SPSS para Windows. Artmed, Porto Alegre, 2006.

EMBRAPA. Sistema de produção da batata, 2016. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3995/sistema-de-producao-de-batata>>.
Acesso em: 01 de julho de 2023.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo**, 2005.

FONTES, P.C.R. **Cultura da Batata.** In: FONTES, P.C.R. (ed). Olericultura: teoria e prática.

Viçosa: UFV, 2005. p. 323-343.

FONTES, P. C. R.; **Nutrição mineral e adubação**. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (coord). Produção de batata. Brasília - DF: Linha Gráfica e Editora, 1987. p. 40-56.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982, 430p.
JANNOURA, R. et al. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. **Biosystems Engineering**, v. 129, p. 341-351, 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. 1. ed. [S.l.]: Parentese, 2009.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. In: BERNARDI, A. C. C., et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. Cap. 8, p. 109-134. ISBN 978-85-7035-352-8.

KAWASHIMA, S.; NAKATANI, M. An Algorithm for Estimating Chlorophyll Content in Leaves Using a Video Camera. **Annals of Botany**, v. 81, p. 49–54, 1998.

LEÓN-RUEDA, W.A., LEÓN, C., CARO, S.G. et al. Identification of diseases and physiological disorders in potato via multispectral drone imagery using machine learning tools. **Trop. plant pathol.** v.47, p.152–167, 2022.

LI, S.; LI, M.; SUN, H. A novel vegetation index (MPRI) of corn canopy by vehicleborne dynamic prediction. **Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi**, v. 34, n. 6, p. 1605–1609, 2014.

LINHARES, MM de A.; ROCHA, N. C. C.; AMARAL, BA da S. **Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, v. 16, p. 8254-8260, 2017.

LINHARES, M. M. A.; AMARAL, B. A. S.; COSTA, A. P., ROCHA, N. C.; CÂNDIDO, L. G. Vant's Aplicados ao Monitoramento Da Evolução Vegetativa de Culturas Agrícolas. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP. São Pedro - SP, 2014. Disponível em: <https://www.sbea.org.br/conbap/2014/trabalhos/R0062-2.PDF>. Acesso em 9 de maio de 2023.

MARTINS, S.; LHISSOU, R.; CHOKMANI, K.; CAMBOURIS, A. Determining the Beginning of Potato Tuberization Period Using Plant Height Detected by Drone for Irrigation Purposes. **Agronomy**. v.13, p.492, 2023.

MIRANDA FILHO, H. D. S.; FELTRAN, J. C. Breve histórico sobre as variedades de batata utilizadas no estado de São Paulo. **Batata Show**, n. 24, p. 54-60, 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed. São José dos Campos: UFV, 2004. 250p.

OLIVEIRA, L. J. C. **Mudanças climáticas e impactos nas produtividades das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PIRES, J. L. F. et al. **Discutindo Agricultura de Precisão: aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p.

PEREIRA, A. da S. **A evolução da cultura da batata no Brasil**. 2011.

PREZOTTI, L.C.; CARMO, C.A.S do; ANDRADE NETO, A. P. M. de. **Nutrição mineral da batata**. Vitória-ES: EMCAPA, 1986. 44 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2. ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2012.

SALAS, Fernando Javier Sanhueza; TÖFOLI, Jesus Guerino. **Cultura da batata: pragas e doenças**. 2017.

SHANAHAN, J. F. et al. Responsive in-season nitrogen management for cereals. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 61, n. 1, p. 51–62, 2008.

SHOZO, Luciano et al. **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. EMBRAPA, 2014. p. 59-66.

SILVA, F.S. et al., 2019. **Correlações da produtividade do algodoeiro com índices de vegetação obtidos por séries temporais de imagens de satélite**. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, 1, 2019, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: EMBRAPA. p.170-174.

SOUZA, Z.S. Ecofisiologia. Em: Pereira, A.S.; Daniels, J. (eds). **O cultivo da Batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 80-104.

VIANA, L. A. et al. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.