

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

**AVALIAÇÃO RADIOMÉTRICA DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*)
POR MEIO DE CORRELAÇÃO *IN SITU* E COM A UTILIZAÇÃO DE
VANT**

RALPH WENDEL OLIVEIRA DE ARAUJO

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
OUTUBRO – 2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

RALPH WENDEL OLIVEIRA DE ARAUJO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Colegiado de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

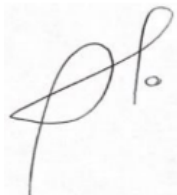
Orientador: Ariston de Lima Cardoso

Co-Orientador: Ossival Lolato Ribeiro

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
OUTUBRO – 2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO DE RALPH WENDEL OLIVEIRA DE
ARAUJO**

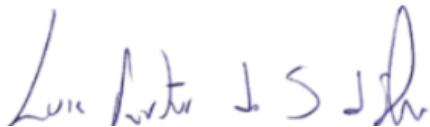


Prof. Dr. Ariston de Lima Cardoso
UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Orientador)



Documento assinado digitalmente
CARLOS AUGUSTO DÓREA BRAGANÇA
Data: 01/11/2023 14:29:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Augusto Dórea Bragança
UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



Msc. Luiz Artur dos Santos da Silva
UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
OUTUBRO – 2023**

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1.0 INTRODUÇÃO.....	7
2.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
2.1 Área de estudo.....	9
2.2 Implantação da cultura.....	10
2.3 Coleta de dados com o uso de espectrômetro.....	11
2.4 Aquisição de imagens multiespectrais.....	12
2.5 Processamento dos dados coletados.....	14
2.6 Comparação, análise de dados e ajustes nos índices.....	16
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
3.1 Determinação de deficiência de nitrogênio com o índice de vegetação NDVI.....	17
3.2 Determinação de severidade de ferrugem com o índice de vegetação GNDVI.....	20
3.3 Avaliação comparativa entre deficiência de nitrogênio e severidade da ferrugem na cultura do milho.....	24
4.0 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS.....	28

RESUMO¹

AVALIAÇÃO RADIOMÉTRICA DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*) POR MEIO DE CORRELAÇÃO *IN SITU* E COM A UTILIZAÇÃO DE VANT

O presente estudo avaliou a utilização de índices multiespectrais na cultura do milho em diferentes condições fisiológicas e de sanidade, utilizando espectrorradiometria e imageamento multiespectral. A pesquisa foi realizada na fazenda experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, com dados coletados em campo e processados em ambiente SIG. Foram analisados os índices de vegetação NDVI e GNDVI, para avaliar a saúde e determinar valores de referência para a cultura. A correlação entre os índices multiespectrais e as condições da cultura permitiu a identificação de zonas com diferentes níveis de deficiência de nitrogênio e severidade de ferrugem. Os valores de referência obtidos para a classificação de deficiência de nitrogênio foram: Sem deficiência: 0,8754; baixa deficiência: 0,7739; e alta deficiência: 0,5754. Além disso, foram obtidos os valores de referência para o grau de severidade da ferrugem, sendo: Sem doença: 0,6839; média severidade: 0,4763; e alta severidade: 0,3996. Os resultados revelaram que a maior parte da área estudada apresentava vegetação saudável, sem deficiência de nitrogênio ou sem ferrugem, representando 50,17% da área total. Observou-se também uma alta relação entre a baixa deficiência de nitrogênio e a alta severidade de ferrugem, bem como a ausência de deficiência de nitrogênio e alta severidade de ferrugem, correspondendo a pequenas parcelas de 0,2092% e 0,0064%, respectivamente. Além disso, o estudo identificou que uma boa nutrição e níveis adequados de nitrogênio na planta contribuem para sua defesa contra infecções, destacando a importância da adubação nitrogenada no cultivo do milho. Em suma, este estudo demonstrou a eficácia das técnicas de monitoramento utilizadas, fornecendo informações valiosas para o manejo da cultura do milho em diferentes condições. A correlação entre os índices multiespectrais e as condições da cultura possibilitou a identificação precisa das áreas que requerem intervenção, contribuindo para a eficiência produtiva e a redução de perdas. Os resultados obtidos têm relevância significativa para a agricultura, destacando a importância do monitoramento e da adubação adequada no cultivo do milho.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Imageamento multiespectral, Geotecnologia, SIG

¹ Artigo/Monografia formatado de acordo com as normas da revista/ABNT

ABSTRACT

RADIOMETRIC EVALUATION OF MAIZE (*Zea mays*) CULTURE THROUGH IN SITU CORRELATION AND UAV UTILIZATION

The present study evaluated the use of multispectral indices in corn cultivation under different physiological and health conditions, using spectroradiometry and multispectral imaging. The research was conducted at the experimental farm of the Federal University of Recôncavo da Bahia, with field data collected and processed in a GIS environment. Vegetation indices NDVI and GNDVI were analyzed to assess health and establish reference values for the crop. The correlation between multispectral indices and crop conditions allowed the identification of areas with varying levels of nitrogen deficiency and rust disease. Reference values obtained for nitrogen deficiency classification were: No deficiency: 0.8754; Low deficiency: 0.7739; and High deficiency: 0.5754. Additionally, reference values for rust severity were obtained as follows: No rust: 0.6839; Moderate severity: 0.4763; and High severity: 0.3996. The results revealed that the majority of the studied area exhibited healthy vegetation, without nitrogen deficiency or rust severity, representing 50.17% of the total area. There was also a high correlation between low nitrogen deficiency and high rust severity, as well as the absence of nitrogen deficiency and high rust severity, accounting for small proportions of 0.2092% and 0.0064%, respectively. Furthermore, the study identified that good nutrition and adequate levels of nitrogen in the plant contribute to its defense against infections, emphasizing the importance of nitrogen fertilization in corn cultivation. In summary, this study demonstrated the effectiveness of the monitoring techniques employed, providing valuable information for the management of corn cultivation under different conditions. The correlation between multispectral indices and crop conditions enabled the precise identification of areas requiring intervention, contributing to productive efficiency and loss reduction. The obtained results hold significant relevance for agriculture, highlighting the importance of monitoring and proper fertilization in corn cultivation.

Keywords: Precision agriculture, Multispectral imaging, Geotechnology, GIS

1.0 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*), pertencente à família Poaceae, apresenta grande importância para a sociedade atual, sendo cultivado há mais de 8 mil anos em várias partes do mundo, devido à sua grande adaptabilidade. Pode ser cultivado desde o equador até os limites das terras temperadas e em altitudes variando desde o nível do mar até 3600 metros acima (Barros e Calado, 2014).

A importância desta cultura decorre das inúmeras formas de aproveitamento, sendo utilizada desde a alimentação humana até a alimentação animal. É uma das principais fontes de energia, representando entre 70% e 90% da dieta animal, dependendo da região (Sousa e Zonta, 2020). No Brasil, 84% do milho é destinado à alimentação animal, sendo principalmente no setor avícola e na suinocultura (Menegaldo, 2015).

Dentre as diversas culturas, o milho é a mais produzida no mundo. Estima-se uma produção de 1.168 milhões de toneladas para o ano agrícola 2022/23 (Syngenta, 2022). O Brasil ocupa um lugar estratégico no setor produtivo de milho, com uma produção registrada de 131,9 milhões de toneladas para a safra de 22/23 (CONAB, 2023).

No Nordeste, a produção de milho possui grande relevância para o mercado regional e nacional. Sendo registrada produção de 13 milhões de toneladas para a safra 22/23, com destaque para os estados da Bahia, Maranhão e Piauí, que representam 85% da produção na região (FAEB, 2023).

Devido à grande importância e necessidade global desse produto, a produção dessa cultura enfrenta alta competitividade. Torna-se indispensável, no sistema produtivo, a busca pela eficiência produtiva e a redução de perdas (Ribas, 2022). Contudo, com o aumento da produção, houve um agravamento das doenças e da severidade delas, exemplificadas por doenças foliares como ferrugens, manchas, míldio e queima, além de podridões do colmo e das raízes, enfezamentos e outras (Fernandes e Oliveira, 2000).

A expansão das áreas de cultivo, o manejo inadequado, o uso de cultivares suscetíveis, safras em diferentes períodos e regiões com diferentes condições climáticas contribuíram para que as doenças se tornassem um grave problema para a cultura no Brasil (Cota et al, 2013; Casela, 2006). Para um manejo eficaz da cultura, é fundamental dedicar atenção e cuidado, visando garantir economia

de insumos e mão de obra, além de assegurar uma boa produtividade. Entre os fatores a serem considerados estão os monitoramentos de doenças, pragas e possíveis deficiências nutricionais (Cruz et al, 2011).

A utilização de tecnologias e técnicas para o monitoramento do crescimento, desenvolvimento e das condições de estresse das culturas agrícolas é cada vez mais comum nas propriedades. Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) equipados com câmeras capazes de capturar imagens multiespectrais para esse tipo de avaliação estão sendo cada vez mais empregados (Andrade et al, 2019).

Através das câmeras multibandas acopladas aos VANTs, é possível obter índices de vegetação que consistem em combinações matemáticas entre diferentes bandas espectrais. Estes índices fornecem dados para detectar variações na cultura, assim como para avaliar a saúde da vegetação. Isso proporciona informações essenciais para o planejamento e a tomada de decisões quanto à aplicação de insumos e ao manejo em áreas específicas do local de produção (Fernandes, 2023).

Um dos índices de vegetação mais utilizados é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), desenvolvido por ROUSE et al. (1973). Ele é obtido através das bandas NIR e RED, variando de -1 a 1. Valores próximos a -1 indicam corpos d'água e áreas não vegetadas, enquanto valores próximos a 1 denotam atividade fotossintética, vigor e sanidade da vegetação. Este índice possui alta correlação com dados de área foliar, vigor vegetal, crescimento, saúde e deficiência de Nitrogênio (Fernandes, 2016; Fernandes, 2023).

Outro índice bastante utilizado para o monitoramento agrícola é o GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index). Este é obtido através das bandas GREEN e NIR, variando de -1 a 1. Valores próximos a -1 indicam corpos d'água, valores próximos a 0 denotam áreas não vegetadas e valores próximos a 1 sinalizam vegetação com bons índices de biomassa, sem estresse e com boa sanidade (Mello et al, 2019; Junior et al, 2021).

Além dos índices de vegetação, a utilização de espectrorradiômetros para obter a resposta da superfície da vegetação, fornecendo a assinatura espectral da cultura, é uma prática inovadora. Esses equipamentos permitem a calibração e a obtenção de respostas pelo sensor (Felipe, 2011). A obtenção da assinatura espectral da planta possibilita a calibração de índices com o objetivo de

determinar valores que se relacionam com as condições fisiológicas da planta, tais como deficiência, estresse, saúde e outras características. Esses aspectos podem ser identificados com base em cada índice avaliado.

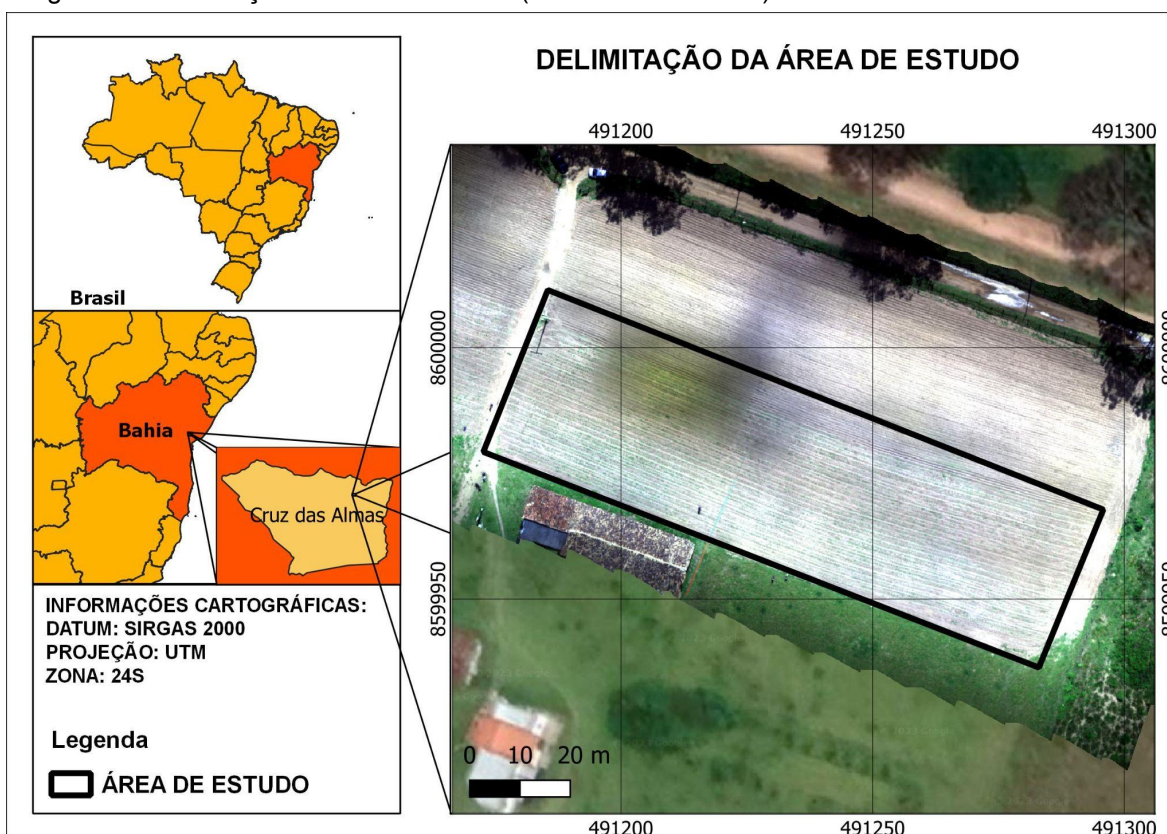
Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar a coleta de assinaturas espectrais da cultura do milho em diferentes condições fisiológicas e de sanidade, utilizando espectrorradiômetro e câmaras multiespectrais para a caracterização, determinação e correlação dos índices multiespectrais NDVI e GNDVI.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na fazenda experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada no campus de Cruz das Almas - BA, Imagem 01.

Imagem 01: Delimitação da área de estudo (Cruz das Almas-BA)



Fonte: Próprio Autor

A região possui uma temperatura média de 24,5°C, caracterizada por um verão longo, com uma média de 102 mm de precipitação mensal e uma umidade média de 80%. Além disso, a área apresenta uma elevação média ao nível do

mar de 200 metros e possui um clima Aw a Am, tropical quente e úmido de acordo com a classificação de Koppen (UFRB, 2011).

2.2 Implantação da cultura

Na etapa de implantação da cultura, procedeu-se ao preparo convencional do solo em uma área de 3.010 m² (0,3 hectare). Foram realizadas uma aração seguida de duas gradagens. A adubação de base foi executada em conformidade com a análise química do solo da área, sendo realizada simultaneamente à etapa de plantio, por meio de uma plantadora adubadora (Imagem 02).

Imagem 02- Etapa de plantio do experimento



Fonte: Próprio autor

Foram utilizadas sementes de milho do híbrido feroz, com uma densidade de plantio de 75 mil plantas por hectare. A adubação de cobertura foi realizada 15 dias após a emergência das plântulas, atendendo às necessidades nutricionais específicas da cultura.

2.3 Coleta de dados com o uso de espectrômetro

Para a coleta dos dados referentes à assinatura espectral da cultura avaliada, utilizou-se um espectrômetro modelo BLACK-Comet-SR (Imagem 03), com uma faixa de leitura de 200-1100 nm, para extração de dados em campo.

Imagem 03- espectrômetro modelo BLACK-Comet-SR

Fonte: Stellarnet.us

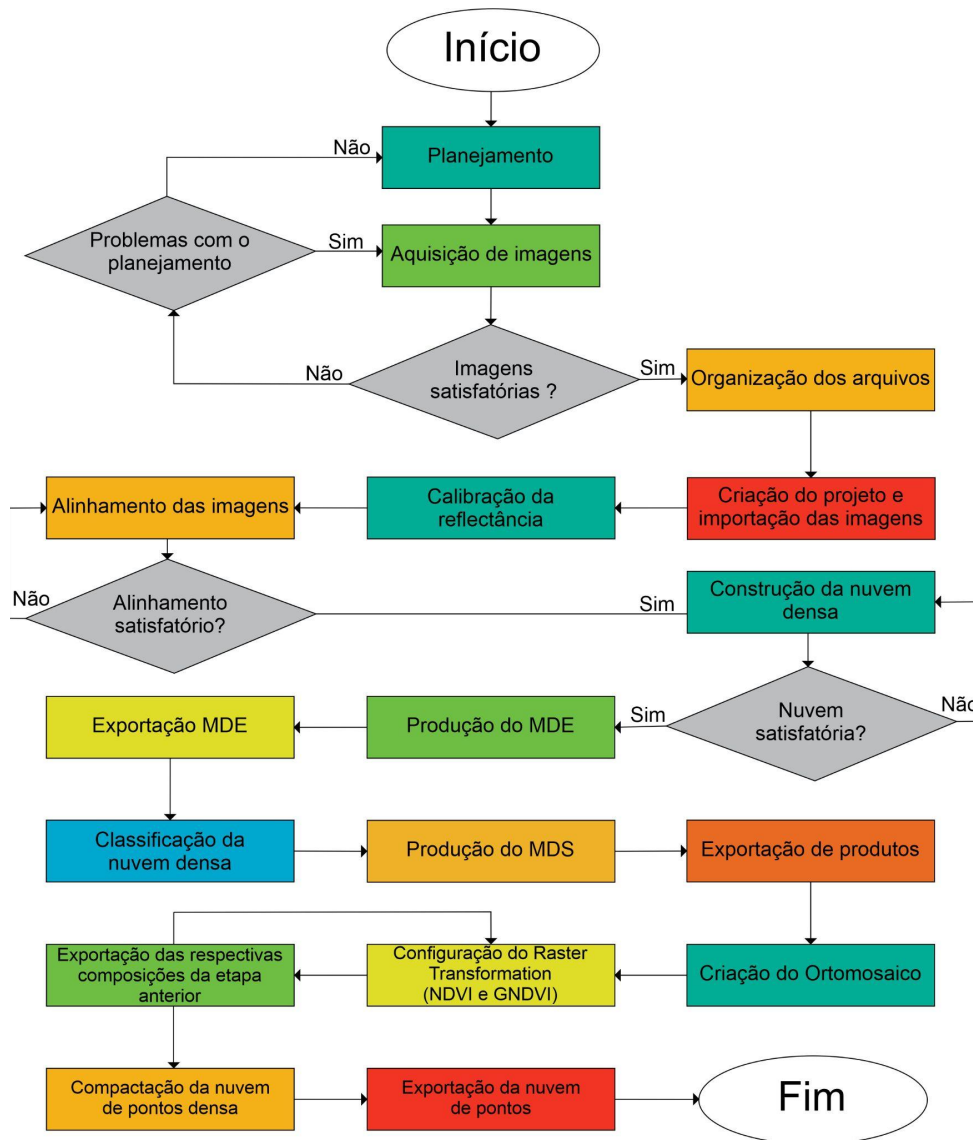
Durante esta etapa, foram coletadas cinco plantas para cada condição fisiológica da cultura. Selecionaram-se duas avaliações para a obtenção das assinaturas espectrais, abrangendo diferentes graus de deficiência de nitrogênio e severidade de ferrugem. Esses graus foram classificados em três categorias: Excelente (indicando ótimo desenvolvimento, sem ferrugem ou deficiência de nitrogênio), Médio (apontando baixa severidade da ferrugem e baixa deficiência de nitrogênio) e Ruim (refletindo alta severidade da ferrugem ou alta deficiência de nitrogênio).

Os dados obtidos relativos à assinatura espectral foram processados utilizando software estatístico. O objetivo foi selecionar aqueles que apresentaram significância na diferenciação das condições fisiológicas da cultura do milho. Esses dados foram posteriormente correlacionados com as informações extraídas por meio dos índices multiespectrais aplicados às imagens coletadas pela câmera multiespectral.

2.4 Aquisição de imagens multiespectrais

No processo de aquisição dos dados e no seu subsequente processamento, foi essencial seguir um planejamento rigoroso, com o objetivo de garantir a qualidade e a eficácia dos dados coletados e processados. Isso se revelou crucial para o desenvolvimento do estudo e para a realização das análises. A metodologia de coleta utilizada está detalhadamente descrita no fluxograma abaixo, figura 01.

Figura 01 : Fluxograma de coleta e processamento das imagens multiespectrais.



Fonte: Próprio Autor

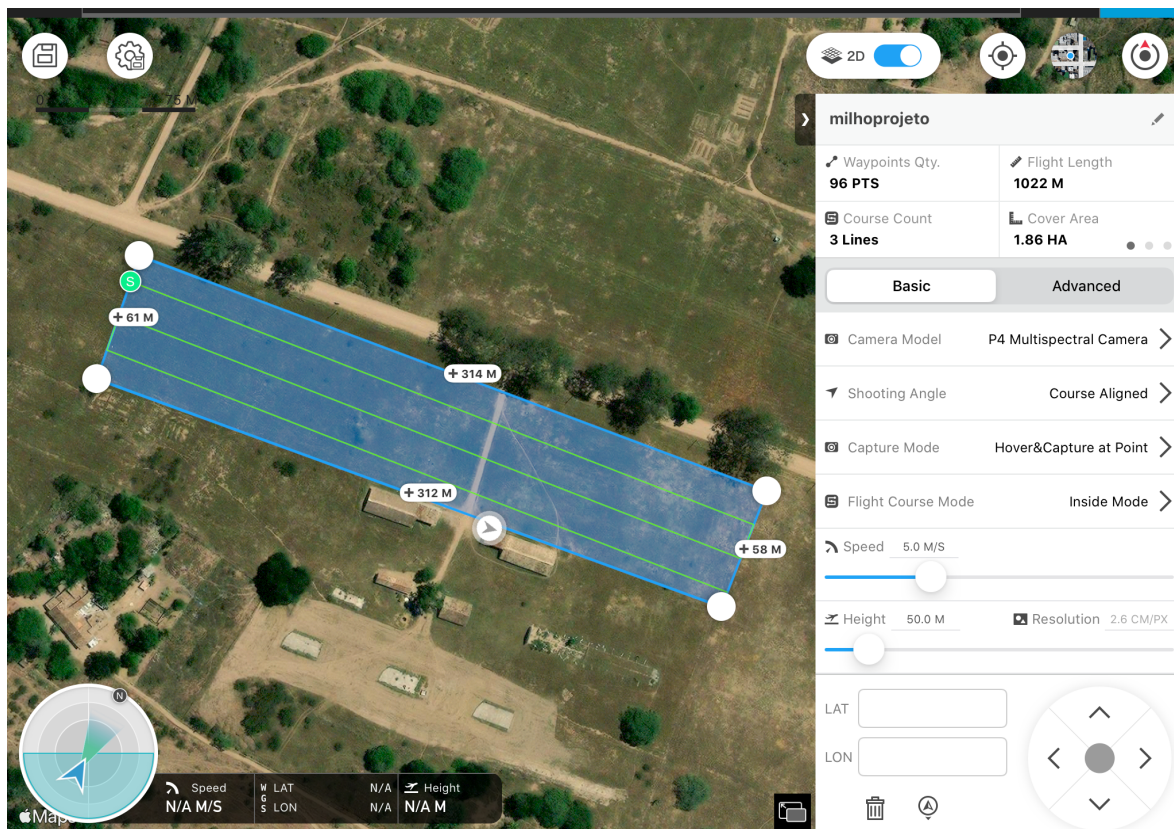
A captura das imagens foi realizada entre o período de 28 de maio a 26 de agosto de 2023, sendo realizado ao todo 12 voos, semanalmente entre 11:00 e 14:00 horas, em condições climáticas favoráveis para o voo e coleta de dados. Durante as operações, foi realizada uma observação em tempo real das previsões meteorológicas para garantir que não haveria precipitação nos próximos 30 minutos, proporcionando condições ideais para o voo.

Para a coleta das imagens, utilizou-se um drone DJI Phantom P4 Multiespectral, equipado com um sistema de câmeras composto por seis sensores CMOS 1/2.9". Esses sensores foram calibrados para capturar imagens em multibandas, com as seguintes especificações: azul: 450 nm ± 16 nm, verde: 560 nm ± 16 nm, vermelho: 650 nm ± 16 nm, red edge: 730 nm ± 16 nm e

infravermelho próximo: 840 nm ± 26 nm. Para cada ponto previamente definido no plano de voo, o drone capturou uma imagem em cada sensor da câmera.

A fim de garantir a uniformidade e parametrização na coleta das imagens, foi utilizado o software de planejamento de voo autônomo DJI GS GO (Imagem 04).

Imagem 04: Planejamento e parâmetros de Voo



Fonte: DJI GS GO

No software, foram inseridos os seguintes parâmetros: altura de voo de 50 metros, sobreposição lateral e frontal de 75% e uma velocidade de 15 m/s. Com base nessas informações, o software calculou a quantidade de imagens a serem capturadas e seus respectivos pontos. O resultado foi a captura de uma imagem para cada sensor em 96 pontos de coleta, totalizando 576 imagens. Esse processo foi concluído em um tempo de voo de aproximadamente 7 minutos e 17 segundos.

2.5 Processamento dos dados coletados

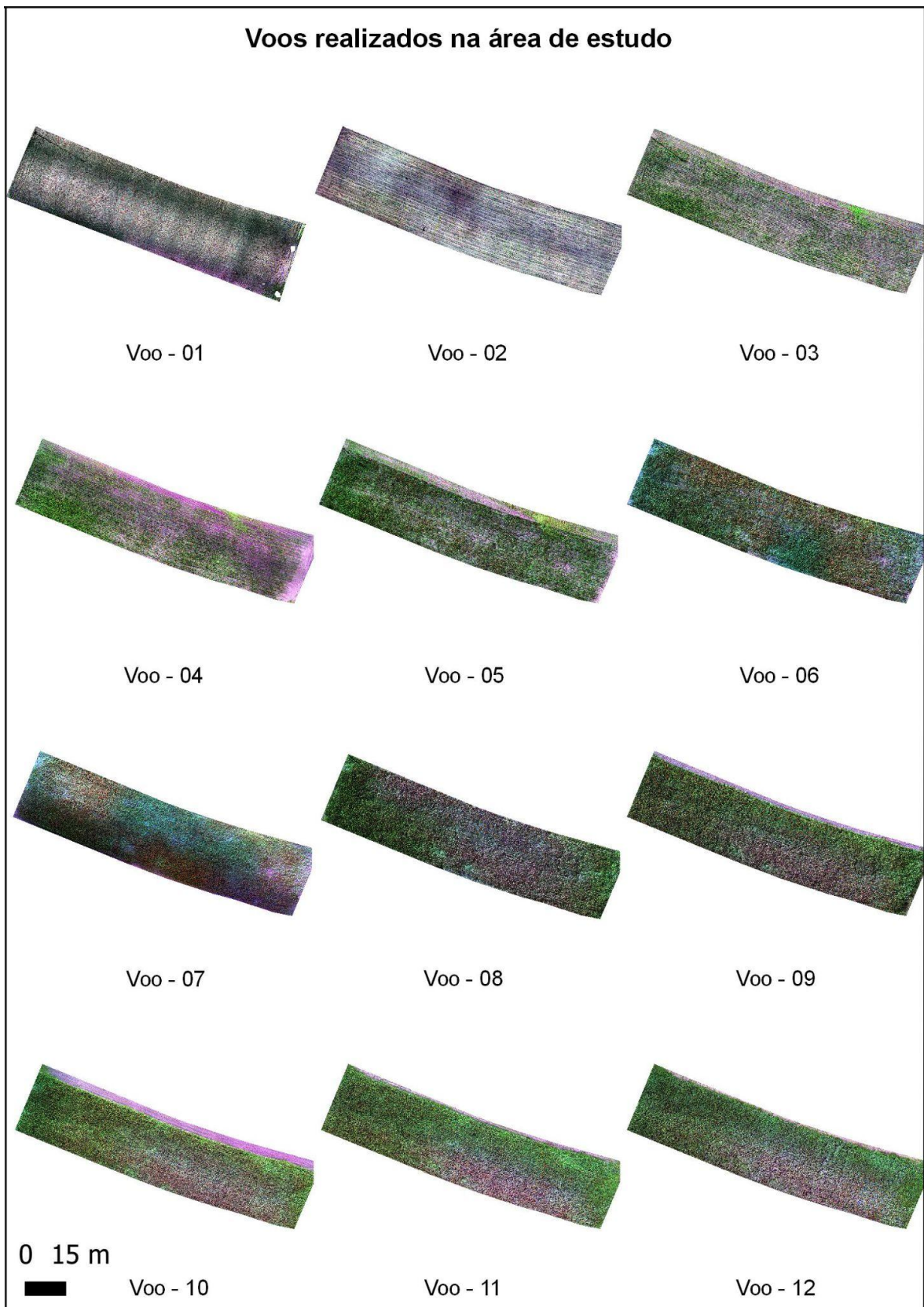
Na etapa de processamento dos dados, foi necessário utilizar um conjunto de máquinas com chipset avançado, composto por um servidor e 5 nós de

processamento, a fim de potencializar o processamento das informações coletadas. Esse conjunto é denominado cluster.

No cluster, empregou-se o software de processamento aerofotogramétrico para o processamento aerofotogramétrico e extração dos dados das imagens obtidas. Esse processo envolve a identificação de feições semelhantes em imagens distintas e a recriação digital do ambiente capturado nas imagens, utilizando a técnica Structure from Motion (SFM). Essa estratégia é considerada uma abordagem eficaz para a reconstrução de imagens a partir de coleções não ordenadas, garantindo precisão, integridade e escalabilidade.

Após o processamento das imagens foram geradas as ortofotos da área nos 12 voos realizados, imagem 05.

Imagem 05 - Voo realizados para a área de estudo no período monitorado



Autor: Próprio Autor

Com base nas ortofotos obtidas, foi utilizada a imagem referente ao dia 02 de julho de 2023 que é correspondente ao 6º voo, este foi escolhido por a cultura

estar no estágio fenológico V6, sendo indicada para avaliação relacionado a deficiência devido a necessidade nutricional da cultura nesta fase ser elevada.

Para a extração dos índices, foram utilizadas álgebras de bandas, as quais empregam as imagens capturadas em diferentes comprimentos de onda para obter os índices espectrais que possibilitam a análise vegetativa da área de estudo. No presente estudo, foram utilizados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Verde (GNDVI).

O cálculo do índice de vegetação NDVI é realizado pela seguinte equação matemática: $NDVI = ((NIR - RED)/(NIR + RED))$. Enquanto a extração do índice GNDVI é realizada através da equação: $GNDVI = ((NIR - GREEN)/(NIR + GREEN))$.

Após a conclusão do processamento e a verificação da qualidade dos dados processados, foram exportados o ortomosaico em RGB, os índices NDVI e GNDVI, bem como o Modelo Digital de Terreno e o Modelo Digital de Superfície para fins de comparação e avaliação.

2.6 Comparação, análise de dados e ajustes nos índices

Com os dados multiespectrais e as respectivas assinaturas espectrais relacionadas às diversas condições fisiológicas da cultura em mãos, procedeu-se à análise de correlação. Posteriormente, os dados foram classificados utilizando um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o objetivo de determinar e ajustar a escala de avaliação da cultura nos diferentes índices multiespectrais selecionados.

A partir das correlações obtidas entre as condições, foram calibrados os índices multiespectrais específicos para a cultura do milho, utilizando as assinaturas obtidas diretamente nos diferentes graus avaliados. Isso permitiu a identificação de zonas com maior e menor deficiência para a cultura no campo, proporcionando informações valiosas para o manejo e aprimoramento da produção.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação de deficiência de nitrogênio com o índice de vegetação NDVI

As plantas foram classificadas em diferentes níveis de deficiência de nitrogênio (Imagem 06), sendo considerados: Plantas com alta deficiência de nitrogênio (A) (Ruim), Plantas com baixa deficiência de nitrogênio (B) (média) e plantas em condição fisiológica excelente (C) (sem deficiência).

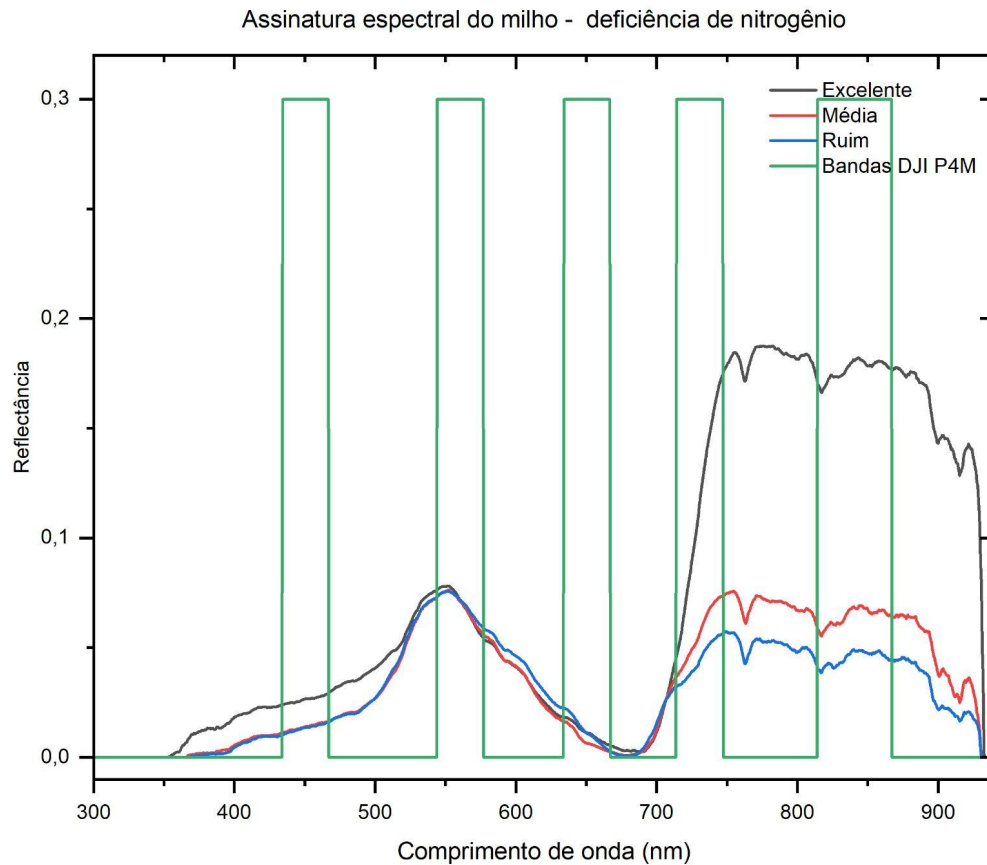
Imagem 06 - Níveis de classificação para deficiência de nitrogênio



Fonte Próprio autor

Após processamento dos dados obtidos pelo espectrorradiômetro foram extraídas as assinaturas espectrais que avaliavam as diferentes condições para deficiência de nitrogênio, Gráfico 01.

Gráfico 01 - Assinatura espectral para a cultura do milho em diferentes condições fisiológicas relacionadas à deficiência de nitrogênio.



Fonte: Próprio Autor

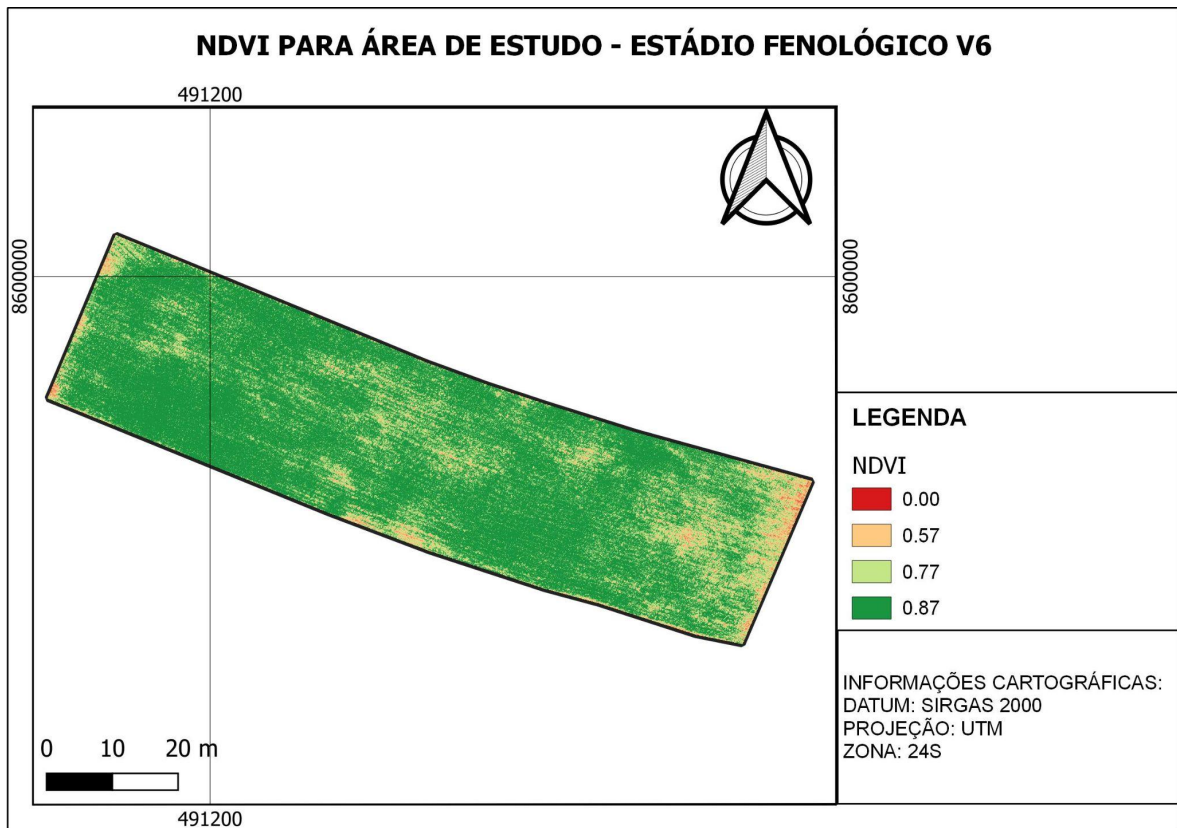
Com base na assinatura espectral para as diferentes categorias, foram determinados os valores do índice NDVI para cada condição avaliada: Sem deficiência = 0.8754, Média = 0.7739 e Ruim = 0.5754. A partir desses dados, foi possível obter uma correlação entre o NDVI e os diferentes graus de deficiência de nitrogênio. Foi realizada uma regressão linear para estes dados, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0.9663 e uma equação linear $y = 0.15x + 0.4415$.

No estudo de Fernandes (2023), foram obtidas correlações similares ao avaliar a utilização do NDVI para diferentes graus de deficiência de nitrogênio foliar. Neste caso, o autor obteve um R^2 de 0.9877, observando que os valores de NDVI aumentaram conforme foram incrementadas as doses de nitrogênio aplicadas na área de estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Drum et al. (2017).

Com os valores determinados pela avaliação in loco, utilizando o espectrorradiômetro, foram extrapolados para avaliação em toda a área. O índice

NDVI foi extraído para a área de estudo na fase fenológica V6, conforme apresentado na imagem 07.

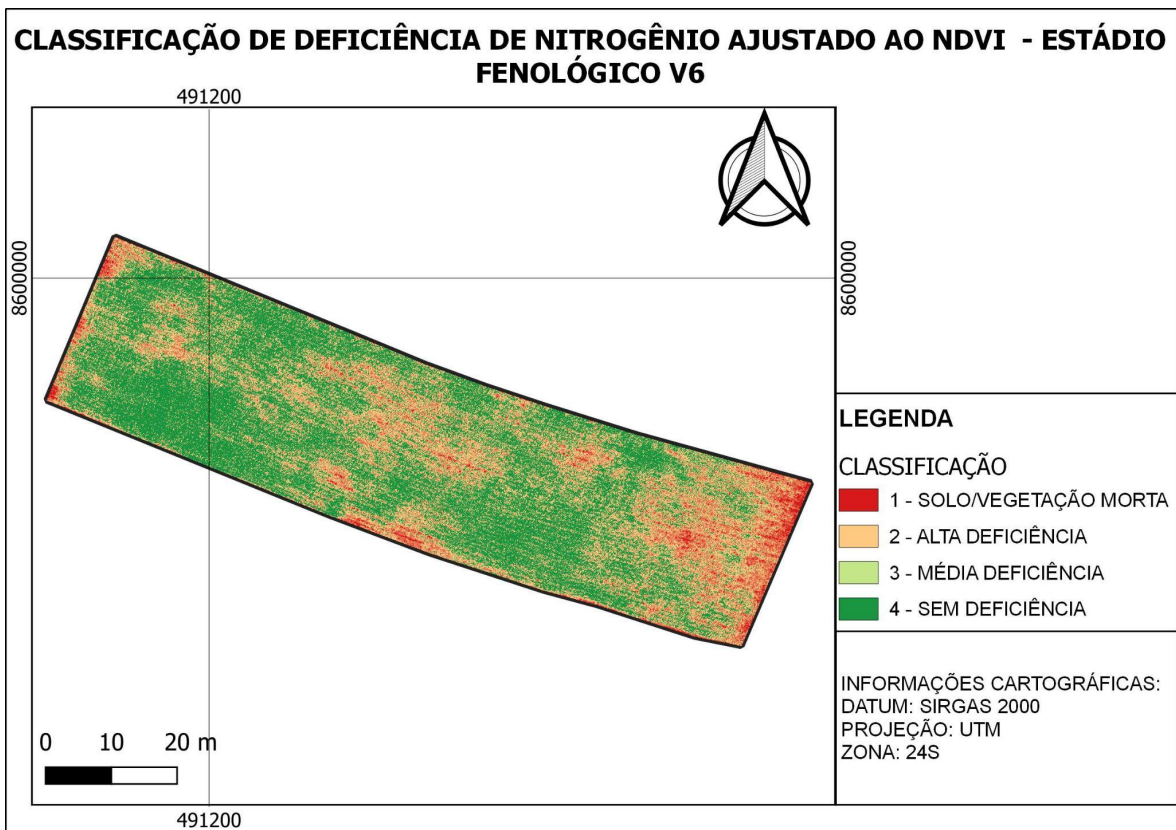
Imagem 07 - Índice NDVI para área de estudo em fase fenológica V6.



Fonte: Próprio Autor

Após a extração do índice de vegetação, os valores de referência obtidos pelo espectrorradiômetro foram inseridos na área. Em seguida, procedeu-se à classificação da área em diferentes graus de deficiência, conforme ilustrado na imagem 08.

Imagem 08 - Classificação da área de estudo com o uso de NDVI para diferentes graus de deficiência de nitrogênio.



Fonte: Próprio Autor

Com base na classificação realizada, torna-se possível identificar as zonas com maior deficiência de nitrogênio e seu respectivo grau, o que viabiliza a implementação de correções localizadas na área de maneira rápida e eficiente. Após a classificação, quantificou-se e determinou-se o tamanho da área relacionada a cada grau de deficiência de nitrogênio, obtendo-se os seguintes valores: Solo exposto ou vegetação morta: 57,9404 m² (correspondendo a 1,92% da área), Alta deficiência: 343,7332 m² (11,42%), Média deficiência: 1.069,0880 m² (35,53%) e Sem deficiência: 1.537,4862 m² (51,10%).

3.2 Determinação de severidade de ferrugem com o índice de vegetação GNDVI

Seguindo a mesma metodologia utilizada na determinação anterior, as plantas foram classificadas em diferentes níveis de severidade de ferrugem (r Imagem 09), sendo consideradas: Plantas com alta severidade da ferrugem (A) (ruim), Plantas com baixa severidade da ferrugem (B) (média) e plantas em condição fisiológica excelente (C) (sem ferrugem).

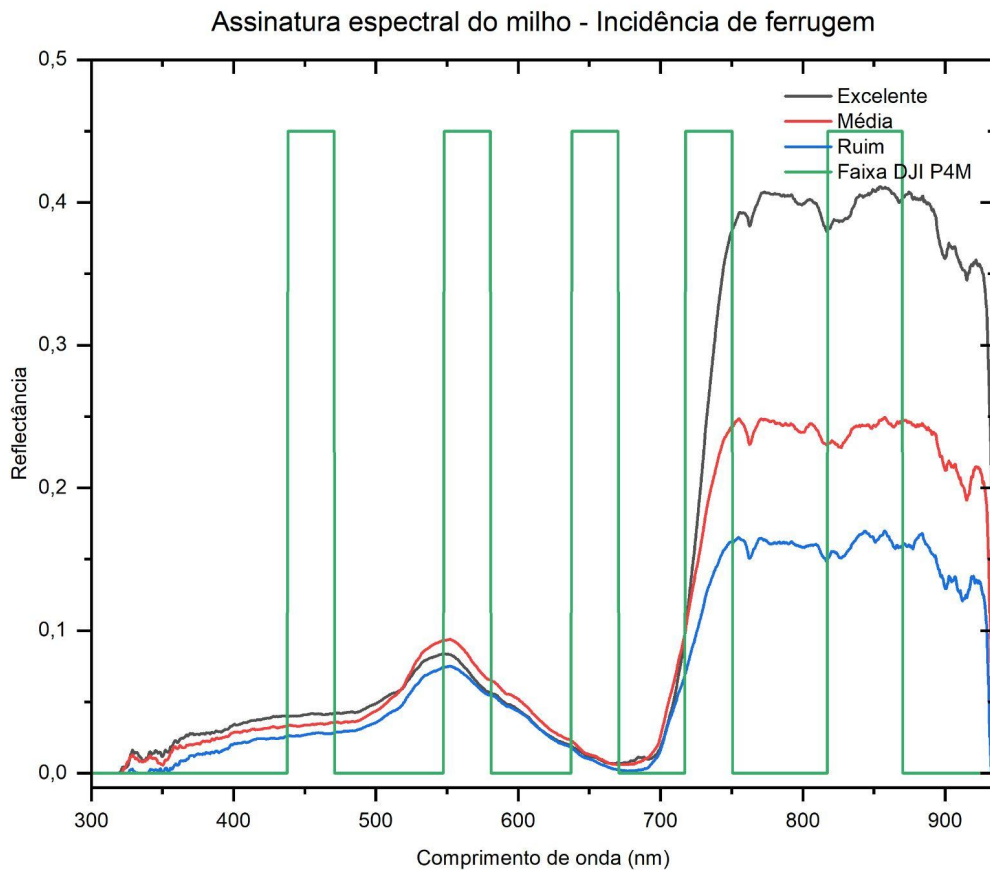
Imagem 09 - Níveis de classificação para severidade de ferrugem.



Fonte: Próprio autor

Após a classificação e obtenção das assinaturas espectrais, esses dados foram processados para obter a assinatura correspondente a cada grau de severidade de ferrugem (Gráfico 02).

Gráfico 02 - Níveis de classificação para severidade de ferrugem no milho.



Fonte: Próprio autor

Com posse da assinatura espectral relacionada aos diferentes graus de severidade de ferrugem, foi obtido o índice GNDVI: Sem ferrugem = 0.6839, Média severidade = 0.4763 e alta severidade = 0.3996. Foi realizada uma regressão linear para esses valores, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0.9321 e uma equação linear $y = 0.1421x + 0.2353$.

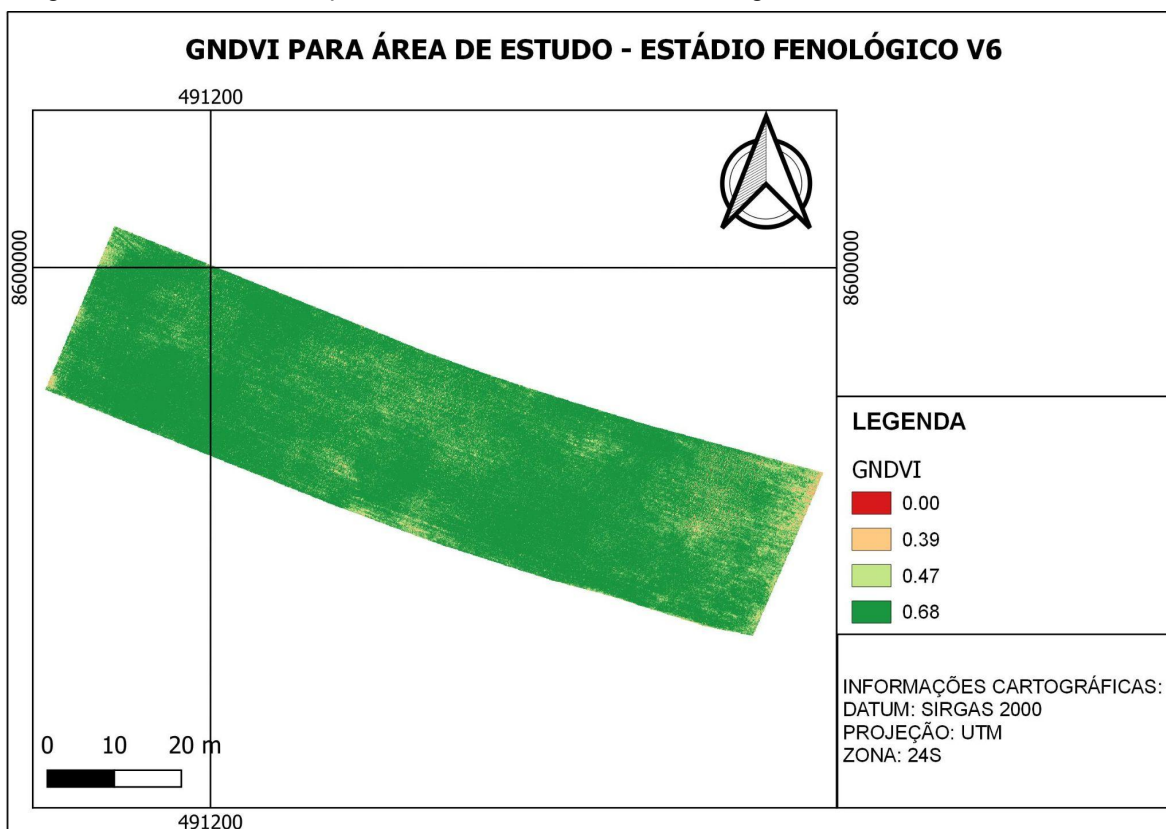
O GNDVI é calculado a partir da diferença normalizada entre o NIR e o GREEN. No estudo de Albert (2022), é mencionado que a degradação dos pigmentos na região do verde resulta em aumento na reflectância nesta faixa. Além disso, Martins e Sargentelli (2022) relatam em seu trabalho que os valores de reflectância para o NIR são significativamente reduzidos quando ocorre degradação da clorofila ou diminuição do teor de água nas folhas.

Filho, Lima e Nóbrega (2009), em sua pesquisa, identificaram interferência na reflectância na região do verde e redução na reflectância no comprimento de onda próximo ao infravermelho em folhas infectadas pelo fungo *Cercospora bixae* na cultura do urucum. Com base nessa abordagem, percebe-se que a alta correlação entre o GNDVI e a severidade de ferrugem na cultura avaliada está

relacionada aos fatores mencionados anteriormente, que influenciam a refletância nos comprimentos de onda do GREEN e do NIR, possibilitando a estimativa da severidade de ferrugem em diferentes graus.

A partir dos valores identificados in loco pelo espectrorradiômetro para os diferentes graus de severidade de ferrugem, foram extrapolados para toda a área de estudo. Foi obtido o índice GNDVI para a área na fase fenológica V6, conforme apresentado na imagem 10.

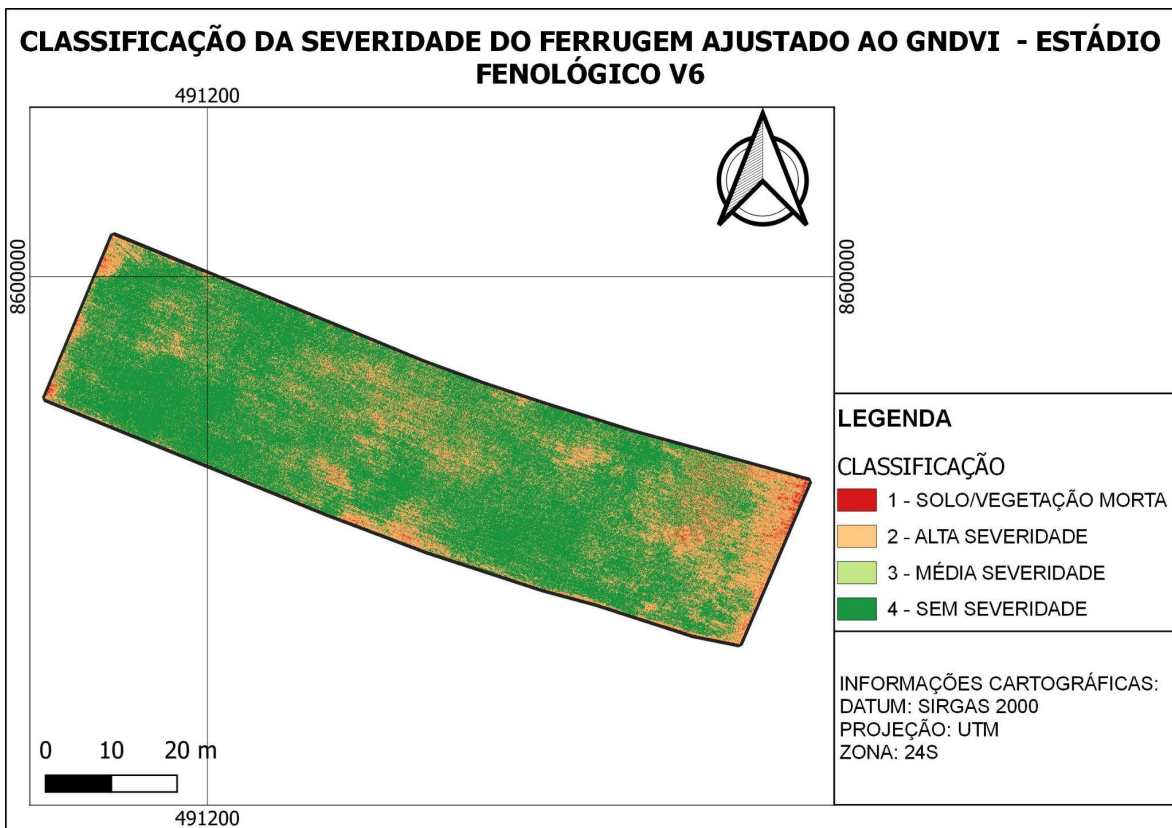
Imagem 10 - Índice GNDVI para área de estudo em fase fenológica V6.



Fonte: Próprio autor

Após a determinação do GNDVI para a área, os valores de referência foram inseridos para possibilitar a visualização aplicada. Em seguida, procedeu-se à classificação da área em diferentes graus de severidade, como apresentado na imagem 11.

Imagem 11 - Classificação da área de estudo com o uso de GNDVI para diferentes graus de severidade de ferrugem.



Fonte: Próprio Autor

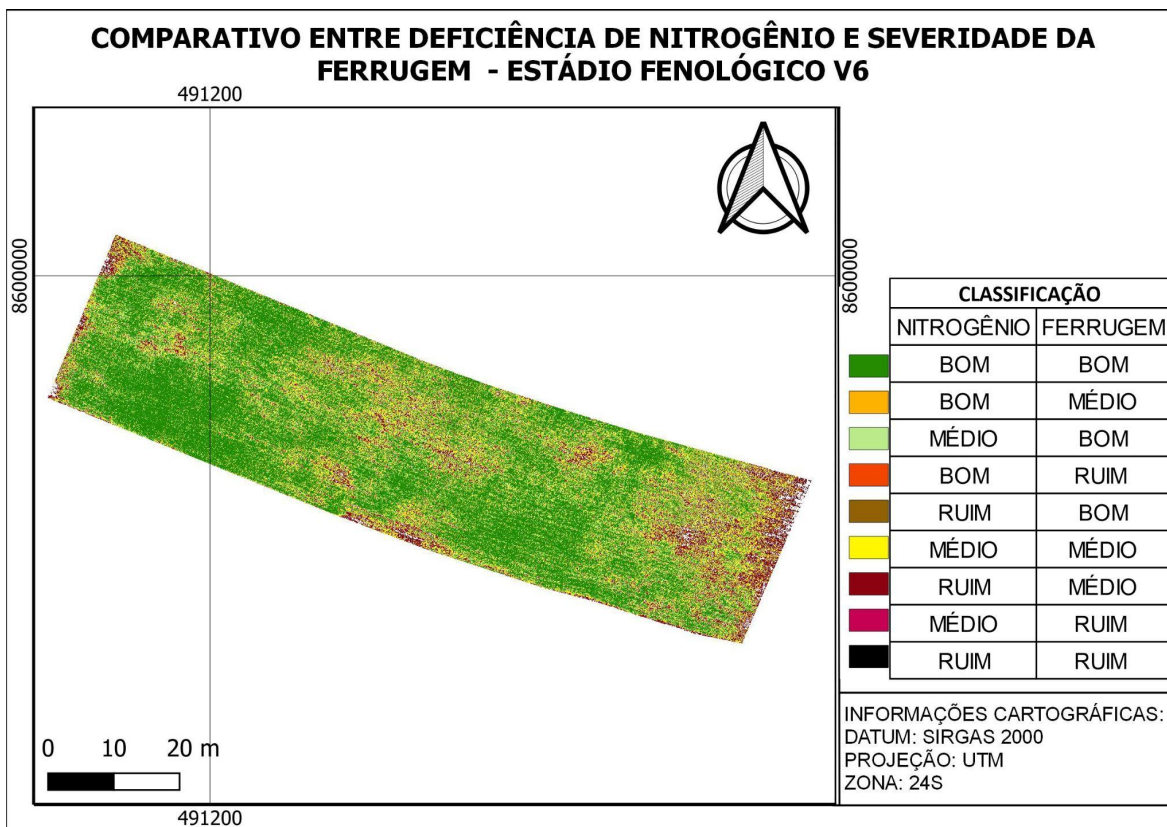
Após a classificação realizada, torna-se possível identificar locais com maior severidade de ferrugem e seu respectivo grau, o que viabiliza a implementação de manejo defensivo localizado na área de maneira rápida e eficiente. Além disso, é possível quantificar o tamanho de cada área de acordo com o grau de severidade, sendo: Solo exposto ou vegetação morta: 17,6891 m² (Correspondendo a 0,58% da área), Alta severidade: 42,8681 m² (1,42%), Média severidade: 827,0926 m² (27,49%) e Sem ferrugem: 2,120,5931 m² (70,49%).

3.3 Avaliação cumulativa entre deficiência de nitrogênio e severidade da ferrugem na cultura do milho

Em posse dos dados relacionados à deficiência de nitrogênio e à severidade de ferrugem na área de estudo, foi realizada a avaliação cumulativa, sobrepondo os dados na área conforme apresentado na imagem 12. Nesta sobreposição, a classificação "bom" corresponde a "Sem deficiência", "médio" equivale a "Baixa deficiência" e "ruim" representa "Alta deficiência" para a avaliação do nitrogênio. Além disso, foi realizada a mesma classificação para a

severidade de ferrugem, onde "bom" refere-se a "Sem ferrugem", "médio" a "Baixa severidade" e "ruim" a "Plantas com alta severidade de ferrugem".

Imagem 12 - Comparativo entre deficiência de nitrogênio e severidade da ferrugem no estádio fenológico V6.



Autor: Próprio Autor

Após a correlação dos dados foi extraído a área referente a cada condição avaliada, sendo:

Tabela 01-Tabela correlacionando graus de deficiência de nitrogênio e severidade da ferrugem na cultura do milho em estádio fenológico V6.

Nitrogênio	Ferrugem	Área (m²)	(%)
Sem deficiência	Sem ferrugem	1.476,0403	50,1776
Baixa deficiência	Sem ferrugem	593,3154	20,1696
Baixa deficiência	Baixa severidade	467,5744	15,8900
Alta deficiência	Baixa severidade	268,2005	9,1174
Sem deficiência	Baixa severidade	61,4250	2,0881

Alta deficiência	Sem ferrugem	50,7606	1,7255
Alta deficiência	Alta severidade	17,9670	0,6107
Baixa deficiência	Alta severidade	6,1564	0,2092
Sem deficiência	Alta severidade	0,1902	0,0064

Fonte: Próprio Autor

Através desta análise, percebe-se que a maior parte da área avaliada é caracterizada por apresentar vegetação saudável, não demonstrando deficiência de nitrogênio e apresentando baixa severidade de ferrugem, correspondendo a 50,17% da área total. 20,16% da área é caracterizada por apresentar baixa deficiência de nitrogênio e não demonstra grau de severidade por ferrugem.

Quando se avalia a relação entre deficiência de nitrogênio e a severidade da ferrugem, percebe-se que há uma alta correlação entre essas condições. A condição com baixa deficiência de nitrogênio e alta severidade de ferrugem, assim como a ausência de deficiência de nitrogênio e alta severidade de ferrugem, representam uma pequena parcela correspondendo a 0,2092% e 0,0064%, respectivamente.

Estudos indicam que uma boa nutrição e níveis ideais de nitrogênio fornecidos para a planta contribuem tanto em nível de defesa constitutiva quanto induzida. As plantas reorganizam os metabolismos primários e secundários em resposta a infecções quando influenciadas pela adubação nitrogenada (Mur et al., 2016).

Manoza et al. (2017) avaliaram que doses ótimas de fósforo e nitrogênio ocasionaram uma redução de 35,65% nos níveis de aflatoxina, que são grupos de compostos tóxicos produzidos por grupos de *Aspergillus flavus* e *A. parasiticus*, na cultura do milho. A aplicação ideal de nitrogênio e fósforo na cultura acelera o crescimento de mudas e raízes da planta, possibilitando melhor saúde e tornando a parede celular mais forte, atuando como barreira mecânica contra a entrada dos fungos (Huber e Haneklaus, 2007; Manoza et al., 2017).

4.0 CONCLUSÃO

O presente estudo proporcionou uma análise abrangente das condições fisiológicas e de sanidade da cultura do milho (*Zea mays*) por meio da coleta e

análise de assinaturas espectrais em diferentes condições fisiológicas.

As assinaturas espectrais obtidas para as diferentes condições fisiológicas avaliadas na cultura proporcionaram a determinação de valores de referência para determinar o grau de deficiência de nitrogênio e severidade da ferrugem.

A classificação com base no ajuste realizado pela espectrometria proporcionou um excelente ajuste ao índice, garantindo a determinação das áreas com deficiência ou severidade.

A correlação dos dados demonstrou uma relação direta entre a deficiência de nitrogênio e a severidade da ferrugem, fornecendo informações valiosas a respeito da condição da cultura em campo.

Os resultados obtidos neste trabalho proporcionam uma inovação científica junto à comunidade, pois os dados se tornam referência para avaliações científicas e mercadológicas, já que os índices obtidos com drones e satélites são amplamente utilizados para avaliação de culturas agrícolas. Indica-se para novos estudos uma extrapolação para todos os estádios fenológicos a fim de proporcionar uma análise abrangente para a cultura.

REFERÊNCIAS

ALBERT, Alice et al. **Manejo de nitrogênio e uso de sensor multiespectral na cultura do milho**. 2022. 55p. Disponível em:

https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2693/3/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Albert%20A.M.pdf. Acesso em: 01 out. 2023

BANCO DO NORDESTE, Portal. **Produção de grãos no Nordeste deve crescer 8,6% em 2023, impulsionada pelas culturas de soja e milho**. Fortaleza - CE, 2023. Disponível em:

https://www.bnb.gov.br/imprensa/noticias/-/asset_publisher/QGdgGhxvRtMv/content/produ%C3%A7%C3%A3o-de-gr%C3%A3os-no-nordeste-deve-crescer-8-6-em-2023-impulsionada-pelas-culturas-de-soja-e-milho/44540#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20milho%20no,ficar%20em%2053%2C9%25. Acesso em: 16 set. 2023

BARROS, José; CALADO, José. **A Cultura do Milho**. Departamento de Fitotecnia, Universidade de Évora/FIT - Publicações de Carácter Pedagógico, Évora, Portugal, 2014. 52p.

Disponível em:

<https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em: 25 jul. 2023

CASELA, Carlos Roberto. MANEJO DE DOENÇAS NA CULTURA DO MILHO. **EMBRAPA**, 2006.

Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/485061/1/Manejodoencas.pdf>. Acesso em: 4 out. 2023.

CRUZ, Ivan. MANEJO DE PRAGAS DA CULTURA DE MILHO. **EMBRAPA**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/482014/1/Manejoprugas.pdf>. Acesso em: 1 jan. 1999.

CRUZ J. C. *et al.* Boas práticas agrícolas: milho. **EMBRAPA**, n. 45, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/908225>. Acesso em: 3 out. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milho-es-de-toneladas-na-safra-2022-23>. Acesso em: 2 out. 2023.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 25 jul. 2023

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milho-es-de-toneladas-na-safra-2022-23>. Acesso em: 25 jul. 2023.

COTA, Luciano; COSTA, Rodrigo; SABATO, Elizabeth; SILVA, Dagma. **Histórico e Perspectivas das Doenças na Cultura do Milho**. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica), Sete Lagoas - MG, 2013. 7 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975363/1/circ193.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023

CULTIVAR, Revista. **Nutrição contra doenças**. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/nutricao-contradoencas>. Acesso em: 01 out. 2023

DRUM, M.A et al. **NDVI como ferramenta para ajustar a adubação nitrogenada na cultura do milho**. Reunião técnica anual de milho e sorgo. Sertão, RS, 2017. Disponível em: https://www.abms.org.br/eventos_anteriores/rtams_2017/trabalhos_anais/1404.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.

EMBRAPA, Portal. **Milho**. Trilha Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/milho>. Acesso em: 25 jul. 2023

ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). **Milho: Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente**. Universidade de São Paulo. Visão Agrícola, Edição nº 13, 2015. 176 p. ISSN 1806-6402 Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FELIPE, João. **Spectrorradiometria em cultivo da soja *Glycine max (L.) Merr.* durante ciclo vegetativo**. Tese (mestrado), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS, 2011. 102 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9589/FELIPE%2C%20JOAO%20PAULO%20DE%20MELLO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 set. 2023.

FERNANDES, Cleberson de F. et al. **Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos.** (Documentos / Embrapa Rondonia, 0103-9865; 133), 2009. 14 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/710939/1/133fitopatogenos.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023

FERNANDES, Fernando Tavares; OLIVEIRA, Elizabeth de. **PRINCIPAIS DOENÇAS NA CULTURA DO MILHO.** v. 26, abr. 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/861158/1/circ26.pdf>. Acesso em: 4 out. 2023. FILHO, Geraldo; MATTOSO, Marcos. **Cultivo de Milho.** (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 1), 9ª edição, 2015. 10 p. ISSN 1679-012X 1. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748770/1/Milho-Coefficientes-tecnico.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FERNANDES, Sabrina. **Índices de Vegetação para diagnóstico nutricional de nitrogênio na cultura do milho a partir de imagens geradas por drone.** Tese (mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco - PR, 2023. 47 p. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31177/1/indicesdevegetacaodiagnosticonutricional.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023

FERNANDES, Pablo. **Estimativa da produtividade de milho (*Zea Mays L.*) através de imagens multiespectrais obtidas por veículo aéreo não tripulado.** Tese (mestrado), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS, 2016. 79 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4842/FERNANDES%2c%20PABLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 set 2023

FILHO, João Américo Wordell; SPAGNOLLO, Evandro. **Sistema de cultivo e doses de nitrogênio na sanidade e no rendimento do milho.** Ciência Rural, v. 43, n. 2, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8RjJ8qh6mPj9BwSx5D8xbJc/>. Acesso em: 01 out. 2023.

FILHO, José; LIMA, Isabele; NÓBREGA, José. **Caracterização espectral de folhas infectada por cercospora bixae na cultura do urucum.** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009. Disponível em: <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/2410.pdf>. Acesso em 01 out. 2023

HUBER D. M.; HANEKLAUS, Silvia Hildegard. **Managing Nutrition to Control Plant Disease?** v. 4, p. 313-322, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dm-Huber/publication/228652549_Managing_nutrition_to_control_plant_disease/links/00b49538f7c3547cc6000000/Managing-nutrition-to-control-plant-disease.pdf. Acesso em: 2 out. 2023.

MARTINS, José Antonio; SARGENTELLI, Vagner. **Infravermelho próximo na avaliação quantitativa foliar.** Prospectus (ISSN: 2674-8576), v. 3, n. 1, p. 33-55, 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/record/5813215>. Acesso em: 01 out. 2023

MANOZA, Fabian S. *et al.* Potential of using host plant resistance, nitrogen and phosphorus fertilizers for reduction of *Aspergillus flavus* colonization and aflatoxin accumulation in maize in Tanzania. **Crop Protection**, v. 93, p. 98-105, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.021>. Acesso em: 12 out. 2023.

MENEGALDO, Jane. **A importância do milho na vida das pessoas**. Revista Cultivar, 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/a-importancia-do-milho-na-vida-das-pessoas>. Acesso em: 16 setembro 2023.

MELLO, Danilo; MEDEIROS, Luiz; LANA, Marcos; FIORINO, Peterson. **Uso e ocupação do solo: comparação de índices NDVI e GNDVI e inferências sobre biomassa de dossel vegetal**. Cadernos de Agroecologia - ISSN 2236-7934 – Edição Especial V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo: Agroecologia e a Compreensão do Solo como Fonte e Base para a Vida – Vol. 15, N° 1, 2020. 5 p. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6282/2377>. Acesso em: 16 set. 2023

MUR, Luis A. J. *et al.* Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens. **Annals of Botany**, p. mcw179, 4 set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw179>. Acesso em: 12 out. 2023.

RIBAS, Jeovani. **Efeito da aplicação foliar de fontes de magnésio no desempenho produtivo do Milho híbrido P3707vyh**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) — Faculdade Regional da Bahia, Barreiras-BA, 2022. 27 p. Disponível em: <http://dspace.unirb.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/579/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 jul. 2023

SILVA, Ubiratan; GONÇALVES, Rodrigo; OLIVEIRA, Leidjane; SILVA, Juarez. **Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil**. Rev. Bras. Cartogr, vol. 73, n. 1, 2021. 19 p. ISSN 1808-0936. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ubiratan-Da-Silva-Junior-2/publication/349466692_Sensibilidade_de_Espectral_dos_Indices_de_Vegetacao_GNDVI_NDVI_e_EVI_na_Mata_Ciliar_do_Reservatorio_de_Serrinha_II_-PE_Brasil/links/603180a9a6fdcc37a83f4469/Sensibilidade-Espectral-dos-Indices-de-Vegetacao-GNDVI-NDVI-e-EVI-na-Mata-Ciliar-do-Reservatorio-de-Serrinha-II-PE-Brasil.pdf. Acesso em: 16 set. 2023

SOUSA, Valdemício; ZONTA, João. **Cultivo do milho-verde irrigado na Baixada Maranhense**. (Embrapa Cocais e Embrapa Meio-Norte. Documentos 6 e 264), 2020. 141 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223597/1/CultivoMilhoVerdeIrrigadoBaixadaMaranhense.pdf#page=15>. Acesso em: 25 jul. 2023

SYNGENTA, Portal. **Milho: maior cultura agrícola produzida no mundo**. 2022. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/noticias/milho-maior-cultura-agricola-produzida-no-mundo/>. Acesso em: 25 jul. 2023

UFRB. **Cruz das Almas**. (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011. Disponível em: <https://www.ufrb.edu.br/pgea/noticias/17-cruz-das-almas#>. Acesso em: 25 jul. 2023.