

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL**

SIMONE MARIA DA SILVA

**DOSES DE NITROGÊNIO PARA MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE E
RENDIMENTO DE GRÃOS NA CULTURA DO MILHO**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL**

**DOSES DE NITROGÊNIO PARA MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE E
RENDIMENTO DE GRÃOS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

CHAPADÃO DO SUL-MS

2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Simone Maria da Silva.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos
Membro da Banca Examinadora

Eng. Agr. Welen Lorraine Souza Silva
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 30 de junho de 2025.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 30/06/2025, às 09:02, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **welen lorraine souza silva, Usuário Externo**, em 30/06/2025, às 09:11, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cid Naudi Silva Campos, Professor do Magisterio Superior**, em 30/06/2025, às 16:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5713100** e o código CRC **ECD0B8F1**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000565/2025-19**SEI nº 5713100**

DEDICATÓRIA

Este trabalho é todo dedicado aos meus pais Adriano e Francisca, que são os responsáveis pela minha educação e formação. Obrigada por estarem sempre ao meu lado, me incentivando nos momentos em que mais precisei e a realizar meus sonhos.

Ao meu filho Pedro Vinicius, que é a minha fonte inesgotável de amor e luz.

A vocês dedico esta vitória. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder-me saúde e forças para seguir em frente quando os momentos difíceis pareciam ser maiores que minha capacidade em prosseguir. Obrigado pai por iluminar meu caminho.

Agradeço também aos meus irmãos Adriana, Fábio e Sandro, e aos meus sobrinhos Kauan, Clarisse e Sofia, obrigada por fazerem parte da minha vida, amo vocês.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque, por ter me guiado durante a realização deste trabalho e pela oportunidade de ser sua orientada.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela chance de obter um ensino superior de qualidade, e a todos os docentes que me passaram o conhecimento sobre o curso de Agronomia. Agradecer a todos os meus amigos que fiz ao longo desses anos.

E a todos que de alguma forma contribuíram e torceram para minha formação, meus sinceros agradecimentos!

LISTA DE TABELAS

Tabela		pg
1	Características químicas e granulométricas do solo na área experimental (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m).....	02
2	Equações e referências dos índices de vegetação utilizados.....	05
3	Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (MCG), produtividade (PROD), índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (NDRE), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e índice de vegetação melhorada (EVI) avaliadas no milho safrinha 2023 sob as diferentes doses de nitrogênio.....	07

LISTA DE FIGURAS

Figura		pg
1	Precipitação pluviométrica e temperatura máxima, mínima e média na segunda safra do milho 2023 (Fonte: INMET, 2024).....	03
2	Tratamentos: 1, 2, 3, 4 e 5 são as doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹ de nitrogênio respectivamente.....	06
3	Imagem das parcelas no índice de vegetação pela diferença normalizada. Chapadão do Sul, MS, Brasil.....	06
4	Altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AIE) e produtividade (PROD) de plantas de milho submetidas a diferentes doses de nitrogênio aplicadas no solo.....	08
5	Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis: altura de plantas (AP; m), altura de inserção da espiga (AIE; m), número de grãos por fileira (NGF), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE) calculados pela multiplicação de NGF x NFE sob doses de nitrogênio (N) aplicadas via solo na cultura do milho.....	09

DOSES DE NITROGÊNIO PARA MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE E RENDIMENTO DE GRÃOS NA CULTURA DO MILHO

RESUMO: O milho (*Zea mays L.*) apresenta alta exigência nutricional em nitrogênio (N), elemento fundamental para a fotossíntese e responsável por diversos processos fisiológicos que sustentam o crescimento e desenvolvimento da planta. Neste contexto, a adubação nitrogenada exerce papel crucial no aumento da produtividade, embora doses excessivas possam comprometer o equilíbrio vegetativo e reduzir o rendimento final. Este trabalho teve como objetivo avaliar doses de nitrogênio para maximizar a produtividade e rendimento de grãos na cultura do milho. O experimento foi realizado na estação experimental da UFMS, em Chapadão do Sul (MS), adotando-se delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N) e quatro repetições. Os índices de vegetação foram obtidos via sensoriamento remoto com VANT, aos 65 dias após emergência, e os dados agronômicos foram coletados aos 149 DAE. Constatou-se que doses crescentes de N proporcionaram melhor correlação entre variáveis espectrais e agronômicas, com maior produtividade observada nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹. A variação de cores nos diferentes tratamentos, que foi feita usando o índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI). Cada cor representa um comprimento de onda específico. Isso explica por que os tratamentos com verde mais intenso indicam uma taxa fotossintética mais alta

Palavras-chave: *Zea Mays L.*, adubação nitrogenada, VANT, sensoriamento remoto.

NITROGEN DOSES TO MAXIMIZE PRODUCTIVITY AND GRAIN YIELD IN CORN CROP.

ABSTRACT: Corn (*Zea mays* L.) has a high nutritional requirement for nitrogen (N), a fundamental element for photosynthesis and responsible for several physiological processes that support plant growth and development. In this context, nitrogen fertilization plays a crucial role in increasing productivity, although excessive doses can compromise vegetative balance and reduce final yield. This study aimed to evaluate nitrogen doses to maximize productivity and grain yield in corn crops. The experiment was carried out at the UFMS experimental station in Chapadão do Sul (MS), adopting a randomized block design with five treatments (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹ of N) and four replicates. Vegetation indices were obtained via remote sensing with UAV, at 65 days after emergence, and agronomic data were collected at 149 DAE. It was found that increasing doses of N provided better correlation between spectral and agronomic variables, with higher productivity observed at doses of 120 and 180 kg ha⁻¹. The color variation in the different treatments was done using the normalized difference vegetation index (NDVI). Each color represents a specific wavelength. This explains why treatments with more intense green indicate a higher photosynthetic rate.

Keywords: *Zea mays* L., nitrogen fertilization, UAV, remote sensing.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1 Local de condução do experimento	2
2.2 Delineamento experimental.....	3
2.3 Manejo fitossanitário	4
2.4 Variáveis avaliadas	4
2.5 Análise estatística	5
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	5
4. CONCLUSÃO.....	10
5. REFERÊNCIAS.....	11

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma das principais culturas agrícolas mundialmente, sendo uma fonte importante de alimento, fibras e energia para humanos e animais. A estimativa publicada pela CONAB 2024/25, prevê uma produção total de 122,8 milhões de toneladas de milho, um acréscimo esperado de 6,15%, comparando-se à safra anterior. Essa expansão na produção total é resultado, principalmente, da recuperação de produtividade esperada e do incremento de área de milho de segunda safra. Cabe destacar que a Conab projeta um acréscimo de 0,4% na área plantada total e um acréscimo de 5,6% da produtividade do setor.

O milho, por ser uma cultura exigente em nitrogênio (N), desempenha funções estruturais e participa diretamente do processo de fotossíntese. Consequentemente, é um dos nutrientes que mais impacta nos custos de produção do milho (SILVA et al., 2005). Ao analisar esse tema, alguns estudiosos chegaram à conclusão de que certos parâmetros das plantas hortaliças estão correlacionados com o teor de nitrogênio e o rendimento das plantas (SILVA et al., 2020; ALBERT, 2020; SANTANA, 2021).

Em quantidades elevadas, o nitrogênio pode ser perdido por lixiviação e volatilização, resultando em contaminação ambiental, como a poluição dos recursos hídricos e a emissão de compostos nitrogenados para a atmosfera (Yang et al., 2023). Além disso, sua deficiência prejudica diretamente o desenvolvimento vegetal. A compreensão da dinâmica do N no solo e sua relação com o desempenho da cultura do milho é essencial para otimizar o uso desse insumo e reduzir perdas econômicas e ambientais (Santana, 2021).

De acordo com Barbosa, (2006), os índices de vegetação (IV) são expressões matemáticas capazes de associar dados espectrais a características quantitativas e qualitativas das plantas. Em relação a cultura do milho, tal nutriente é requerido em maiores quantidades o que requer uma maior atenção no manejo (SALDANHA, 2023; LAZZARINI, 2022).

Os Índices de Vegetação (IVs) são muito utilizados na agricultura de precisão. Eles são obtidos por meio do sensoriamento remoto, que analisa a reflectância da cobertura vegetal, não sendo necessário ter contato físico com as plantas. Essas informações, possibilita avaliar diversos aspectos, como o desenvolvimento das culturas, a biomassa, a porcentagem de cobertura do solo, a nutrição das plantas, o teor de nitrogênio e até mesmo fazer estimativas de produção (BORGHI et al., 2016; HASSAN et al., 2019; de OLIVEIRA BERTOLIN et al., 2017; FURLANETTO et al., 2021). Isso tudo ajuda o agricultor a tomar decisões mais rápidas e eficientes sobre as práticas de manejo (BREDEMEIER et al., 2016; LOFTON et al., 2012).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar doses de nitrogênio para maximizar a produtividade e rendimento de grãos na cultura do milho. Os índices de vegetação foram obtidos via sensoriamento remoto com VANT. Constatou-se que doses crescentes de N proporcionaram melhor correlação entre variáveis espectrais e agronômicas, com maior produtividade observada nas doses entre 120 a 180 kg ha⁻¹ de N, e ponto de máximo de 164,84 kg ha⁻¹ de N, foi a mais eficiente, na altura da planta (AP) o ponto máximo de 130,44 kg ha⁻¹ de N, na altura de inserção da espiga (AIE), o ponto máximo se 138,06 kg ha⁻¹ de N, equilibrando crescimento e rendimento. A variação de cores nos diferentes tratamentos, que foi feita usando o índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI). Cada cor representa um comprimento de onda específico. Isso explica por que os tratamentos com verde mais intenso indicam uma taxa fotossintética mais alta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul - MS, (18°46'13,4" S e 52°37'19,8" W e altitude média de 819 m), na segunda safra de 2023. O clima da região classifica-se como tropical úmido (Aw), segundo a categorização de Koppen, com índice pluviométrico regular no verão e seca no inverno, precipitação média anual de 1.850 mm, umidade relativa média anual de 64,8%, com temperatura média anual variando de 13 °C a 28 °C.

Baseado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo desta área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, argiloso (SANTOS et al., 2018). Anteriormente ao plantio do experimento foi realizado a coleta de amostras de solos na camada de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade (Tabela 1). A recomendação de calagem e adubação do solo foi feita a partir da análise de solo, para a calagem foi realizado o cálculo de acordo com a metodologia de Saturação por bases (V%), elevando-a para 60% para a cultura do milho.

Tabela 1: Características químicas e granulométricas do solo na área experimental (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m)

Camada	pH	P	Ca	Mg	Al	H+Al	K	CTC	V	m	Argila	Silte	Areia
(m)	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----				cmol _c dm ⁻³ -----		---- % ----		----- g dm ⁻³ -----		
0-0,2	4,9	27,4	3,4	1,1	0,06	4,3	0,16	8,96	52,0	1,3	485	50	465
0,2-0,4	4,4	1,6	1,2	0,2	0,16	5,2	0,12	6,72	22,6	9,5	485	25	490

A precipitação foi de aproximadamente 574,5 mm distribuídos em 31 dias de chuvas (Figura 1), quantidade superior à necessária para o adequado desenvolvimento das plantas de milho, pois a exigência hídrica dessa cultura varia entre 380 e 550 mm (ALBUQUERQUE, 2010).

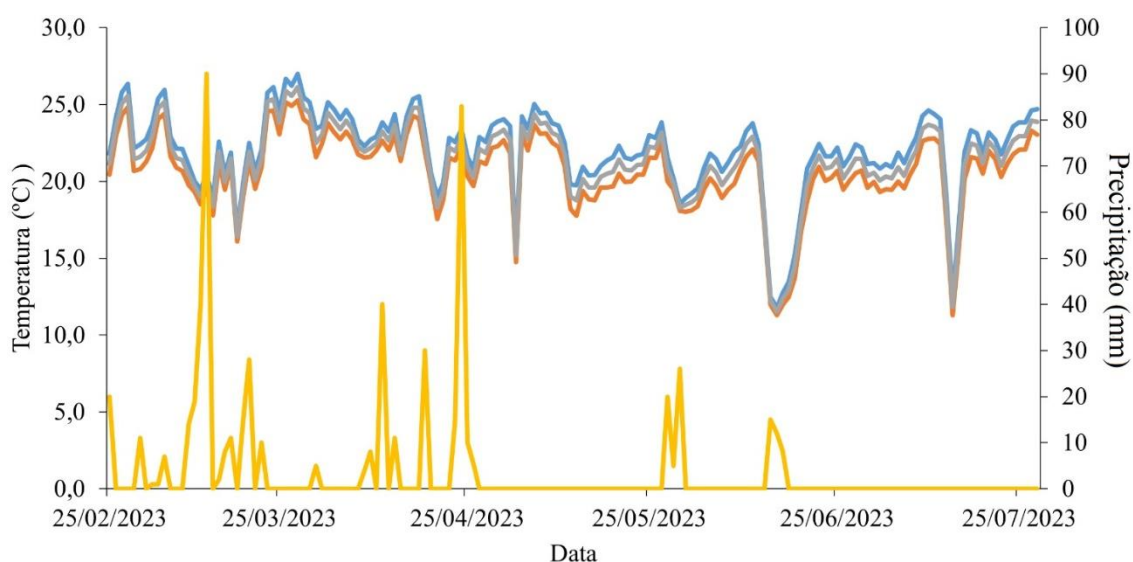


Figura 1: Precipitação pluviométrica e temperatura máxima, mínima e média na segunda safra do milho 2023 (Fonte: INMET, 2024).

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo as seguintes doses por parcela: 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), na forma de uréia, foram aplicados em cobertura, a lanço. As parcelas foram compostas por 7 linhas com espaçamento de 0,50 m entre linha por 10 m de comprimento, totalizando 35 m quadrados. No momento da colheita, a densidade populacional registrou 65 mil plantas por hectare. A Semeadura ocorreu de forma mecânica no dia 25/02/2023, utilizando uma semeadora-adubadora JM 26,70/2570 – POP, sobre a palhada de soja. O híbrido utilizado foi X30R520VYH, com distribuição de 3,5 semente por metro. Juntamente com a semeadura foi realizada a adubação de base contendo 11 kg ha⁻¹ de N (ureia); 65,6 kg ha⁻¹ de P (Super Fosfato Triplo) e 56,4 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de Potássio). A adubação de cobertura foi realizada com 40,2 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de Potássio).

2.3 Manejo fitossanitário

O controle fitossanitário foi realizado com base nas recomendações técnicas para a cultura. No controle de plantas daninhas e soja tiguera foi utilizado 5,0 L ha⁻¹ de Atrazina + 240 mL ha⁻¹ de Soberan. Para o controle de pragas foi aplicado 200 mL ha⁻¹ mustang, 250 mL ha⁻¹ Ampligo + 250 mL ha⁻¹ de Engeo Pleno, dividido em duas aplicações durante a fase vegetativa da cultura. Para o controle de doenças foi aplicado 150 mL ha⁻¹ de Orkestra + 150 mL ha⁻¹ de Mess, na área total do experimento.

2.4 Variáveis avaliadas

Aos 149 dias após a emergência, quando a planta se encontrava no estágio de grãos úmidos (R5/R6) foram avaliados os parâmetros produtivos do milho como: altura de plantas (AP; m), altura de inserção da espiga (AIE; m), número de grãos por fileira (NGF), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE) calculados pela multiplicação de NGF x NFE. Nos parâmetros AP e AIE foram mensurados com a utilização de uma régua graduada da superfície do solo até a inflorescência (pendão) da planta e a inserção da primeira espiga respectivamente. Foram escolhidos ao acaso cinco plantas por parcela, para avaliar os seguintes parâmetros AP, AIE, NGF, NFE e NGE.

Para obtenção dos dados de produtividade, foram colhidas duas linhas centrais com três metros de comprimento de cada parcela, quando a planta se encontrava em plena maturação fisiológica (R6) foram então calculados a produtividade (PROD, kg ha⁻¹) e a massa de cem grãos (MCG, g) ambas corrigidas para 13% de umidade e a PROD extrapolada para kg ha⁻¹.

Os índices de vegetação foram obtidos 65 dias após emergência ou 35 dias após a aplicação de nitrogênio, foi utilizado uma aeronave remotamente pilotada (RPA) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e pouso. O sobrevoo foi realizado a 100 m de altura, permitindo uma resolução espacial da imagem de 0,10 m.

O SenseFly eBee RTK foi equipado com um sensor de luminosidade e a câmera multiespectral Parrot Sequoia, com um sensor de luz solar na parte superior do equipamento, que registra a irradiância espectral total do sol no nível do sensor e, assim, facilita a determinação automática da refletância no sensor. Os sobrevoos foram realizados próximo ao zênite devido à minimização das sombras das árvores, às 11h, visto que o sensor multiespectral é do tipo passivo, ou seja, dependente da luminosidade solar.

Foram avaliados os seguintes picos de comprimento de onda: verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm). As informações

adquiridas nestes comprimentos de onda permitiram calcular os diferentes índices de vegetação, conforme apresentado na Tabela 2. O levantamento aéreo foi realizado utilizando a tecnologia Real-Time Kinematics (RTK), que foi utilizada para estimar a posição da câmera no momento da imagem coleta, com precisão de 2,5 cm. As imagens foram mosaicadas e ortorretificadas usando o pacote de software Pix4Dmapper.

Tabela 2: Equações e referências dos índices de vegetação utilizados.

Sigla do Índice de Vegetação	Índice de Vegetação	Equação	Referências Bibliográficas
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	Rouse et al. (1973)
NDRE	Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (<i>red edge</i>).	$(R_{NIR} - R_{EDGE}) / (R_{NIR} + R_{EDGE})$	Gitelson e Merzlyak (1994)
SAVI	Índice de Vegetação ajustado ao solo	$(1 + L) * (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED} + L)$	Huete (1988)
EVI	Índice de vegetação melhorada	$G * (R_{NIR} - R_{RED}) L + R_{NIR} + C1 * R_{RED} - C2 * R_{BLUE}$	Justice et al. (1998)

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) no SISVAR, e quando o fator quantitativo foi significativo realizou-se a análise de regressão polinomial. A análise multivariada foi realizada por meio da análise de componentes principais (PCA) para analisar a relação entre as variáveis avaliadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 apresenta como estavam dispostos os tratamentos nas parcelas, através de uma imagem obtida pelo RPA.

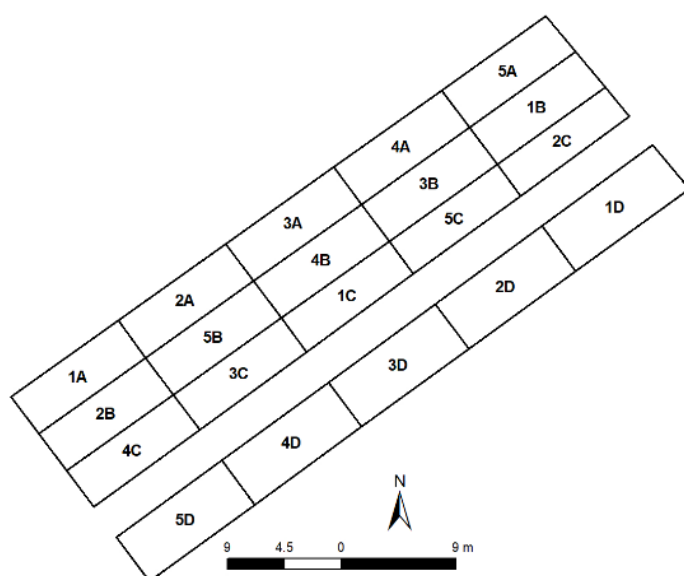


Figura 2: Tratamentos: 1, 2, 3, 4 e 5 são as doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

Pode ser observado na Figura 3, a variação de cores nos diferentes tratamentos, que foi feita usando o índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI). Cada cor representa um comprimento de onda específico. Isso explica por que os tratamentos com verde mais intenso indicam uma taxa fotossintética mais alta. Quando há mais vegetação e maior atividade fotossintética, os valores do índice IV também aumentam (MARION, A. F. et al., 2021).

No quadro de análise de variância (Tabela 3), exibe as variáveis avaliadas e o nível de significância 5% do teste F. As doses de nitrogênio (N) tiveram efeito significativo na altura da planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e na produtividade (PROD), assim como foi observado no estudo de Dotto et al., (2010), onde a aplicação de diferentes doses de N também influenciou e apresentou diferenças estatísticas na produtividade.

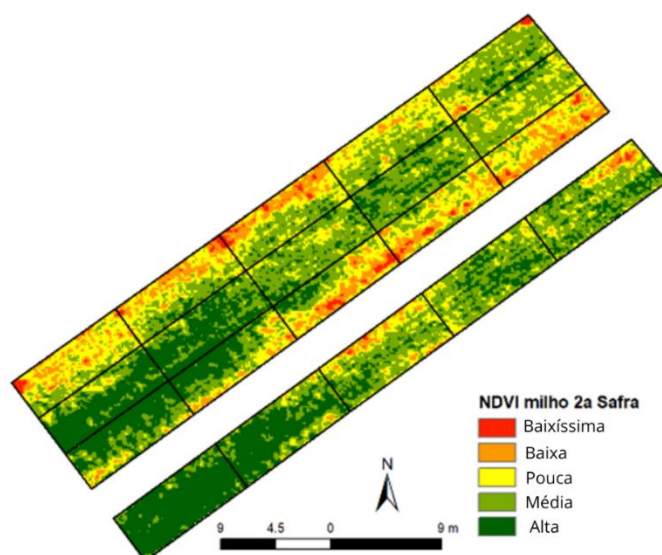


Figura 3: Imagem das parcelas no índice de vegetação pela diferença normalizada. Chapadão do Sul, MS, Brasil.

Tabela 3: Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (MCG), produtividade (PROD), índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (NDRE), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e índice de vegetação melhorada (EVI) avaliadas no milho segunda safra 2023 sob as doses de nitrogênio.

	Dose	Resíduo	CV
G.L	4	12	
AP	660,18*	13,40	1,92
AIE	166,18*	8,18	3,03
NGF	0,93	2,05	3,87
NFE	0,18	0,45	3,98
NGE	692,38	1654,4	6,55
PROD	2035309*	1883112	8,52
MCG	8,33	25,8	14,98
NDVI	0,00	0,00	5,37
NDRE	0,00	0,00	4,54
SAVI	0,00	0,00	5,06
EVI	0,00	0,00	8,80

G.L: graus de liberdade; *: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

De acordo com a análise de variância (ANOVA), altura da planta (AP) obteve o ponto máximo de 130,44 kg ha⁻¹ de N, altura de inserção da espiga (AIE) obteve o ponto máximo se 138,06 kg ha⁻¹ de N, foram significativas a 5% de probabilidade (Figura 4a e 4b), ambos os parâmetros aumentam com a dose de N até cerca de 120–180 kg ha⁻¹, e depois tendem a estabilizar ou reduzir. O ponto de máximo da produtividade de 164,84 kg ha⁻¹ de N (Figura 4c), teve apresentaram aumento de 44% em relação ao efeito controle. Em experimento com adubação nitrogenada em doses crescentes de 0 até 150 kg ha⁻¹ na cultura do milho, Kappes et al. (2014) observaram um incremento progressivo na produtividade do milho à medida que as doses de nitrogênio aumentaram, com os maiores rendimentos ocorrendo nas doses mais elevadas. Esse comportamento reforça a importância de uma adubação nitrogenada adequada, que contribui para o pleno desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura. Da mesma forma, Bastos et al. (2008) observaram um efeito positivo das doses crescentes de nitrogênio na cultura do milho, alcançando uma produtividade de grãos com a aplicação na dose de 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Esse ponto é reforçado pela literatura, que mostra que a aplicação de nitrogênio em quantidades corretas é crucial para otimizar o crescimento das plantas. Por outro lado, doses muito baixas ou excessivas podem prejudicar o desenvolvimento (Chen et al., 2019). Assim, a calibração cuidadosa da fertilização com nitrogênio é essencial para garantir um crescimento vegetal eficiente e sustentável (Li et al., 2020)

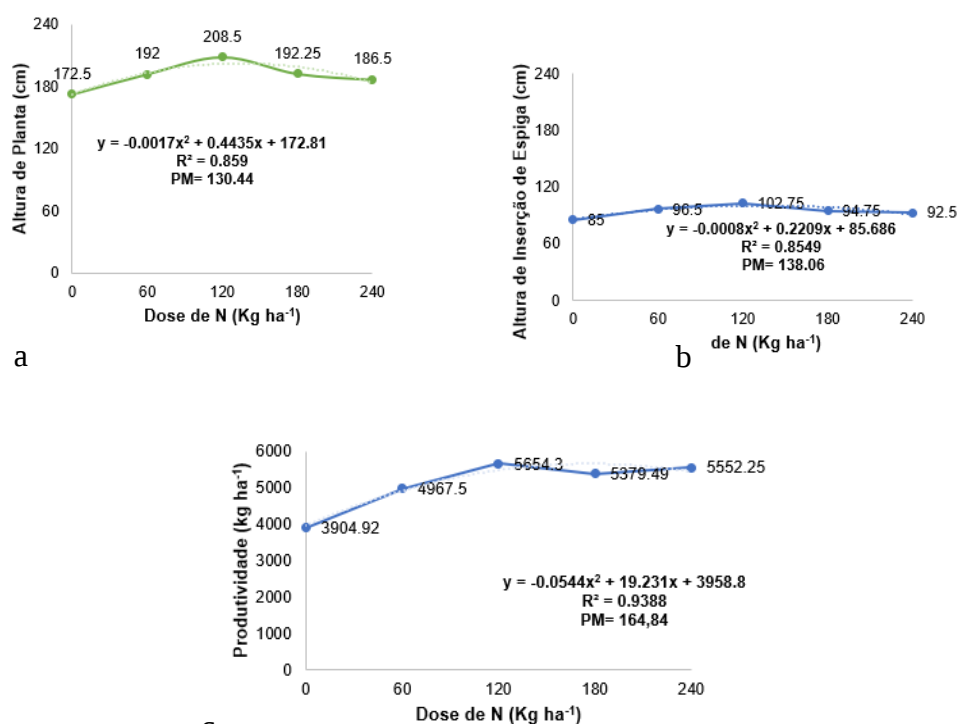


Figura 4: Altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AIE) e produtividade (PROD) de plantas de milho submetidas a diferentes doses de nitrogênio aplicadas no solo.

O gráfico biplot da Análise de Componentes Principais (PCA), no qual as doses de nitrogênio (N) foram utilizadas como grupos categóricos, representadas pelas diferentes cores e formatos dos pontos. A análise de PCA evidenciou que o nível de nitrogênio aplicado influenciou o desenvolvimento das variáveis analisadas, com as doses mais altas proporcionando maior produtividade e acúmulo de grãos, enquanto as doses menores apresentaram menor variabilidade entre as repetições (Figura 5).

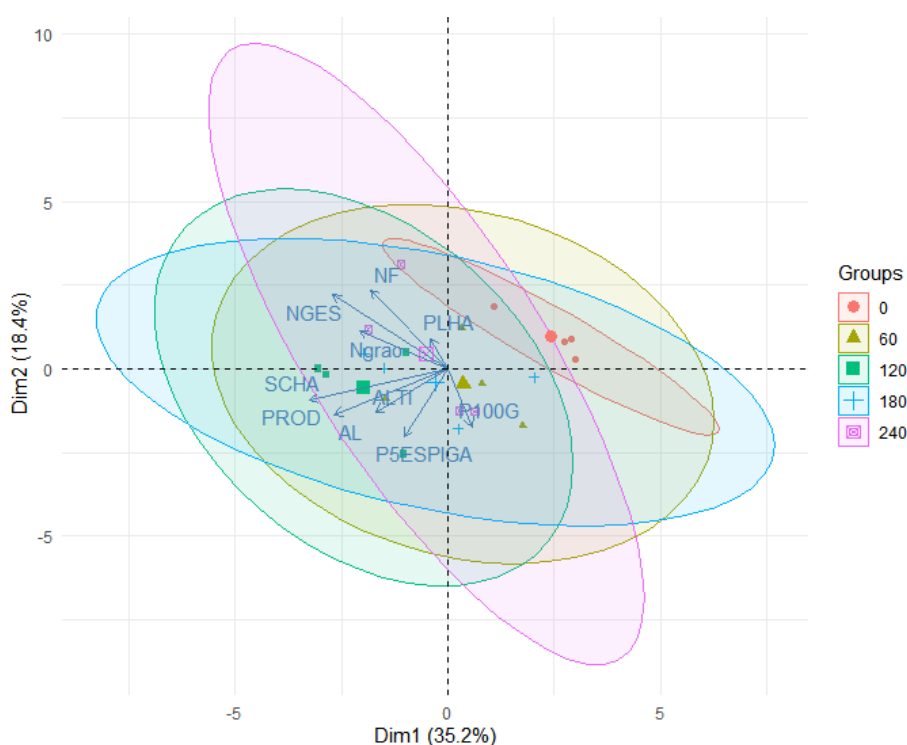


Figura 5: Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) para as variáveis: altura de plantas (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), número de grãos por fileira (NGF), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE) calculados pela multiplicação de NGF x NFE sob doses de nitrogênio (N) aplicadas via solo na cultura do milho.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de nitrogênio em doses adequadas é crucial para maximizar a produtividade do milho segunda safra, entre de 120 a 180 kg ha⁻¹ de N, na altura da planta (AP) o ponto máximo de 130,44 kg ha⁻¹ de N, na altura de inserção da espiga (AIE), o ponto máximo de 138,06 kg ha⁻¹ de N, e o ponto de máximo da produtividade de 164,84 kg ha⁻¹ de N, foi a mais eficiente, equilibrando crescimento e rendimento. O uso de drones e sensores remotos oferece uma ferramenta valiosa para monitorar a lavoura e otimizar a adubação nitrogenada, garantindo uma produção mais eficiente e sustentável.

5. REFERÊNCIAS

ALBERT, A. M. **Índices de vegetação obtidos com câmera multiespectral relacionados com adubação nitrogenada e produtividade no milho**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, 2020.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, v. 6, n. 1, set. 2010.

ALVES, Vitor Camargo. **Variáveis agronômicas no milho segunda safra em função de diferentes doses de nitrogênio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Câmpus de Chapadão do Sul, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS, 2024.

BARBOSA, K. M. do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 131 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

BASTOS, E. A. CARDOSO, M. J.; Melo, F. B.; Ribeiro, V. Q.; Andrade Júnior, A. S. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 02, p. 275-280, 2008. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/60/56>>. Acesso em: 10 maio 2025.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.4, n.2, p. 243-249, fev. 2006.

BESSEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MELLO, G. R.; BRATTI, F., PIVA, J. T. Fontes minerais de nitrogênio na sucessão milho-trigo em sistema de plantio direto. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 7, n. 1, p. 87-102, 2018.

BESSEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; GOETTEN, M.; FIOREZE, S. L.; GUGINSKI-PIVA, C. A.; PIVA, J. T. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.19, n. 1, p. 94-103, 2020.

BORGHI, E.; WILDA, L.; RESENDE, A. V.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, R. **Índice de vegetação, teor de clorofila e eficiência de uso de nitrogênio por híbridos de milho**. In Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 31. Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; PIRES, J. L. F. Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos e aplicações. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CESPOL, 2016. Cap. 7, p. 137-158.

CADORE, R.; COSTA NETTO, A. P.; REIS, E. F.; RAGAGNIN, V. A.; FREITAS, D. S.; LIMA, T. P.; ROSSATO, M.; D'ABADIA, A. C. A. Híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasiliense* sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.3, p. 398-409, 2016.

CASTRO, P. R. D. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. São Paulo – SP: Agronômica ceres, p. 864, 2008.

CHEN, S.; HUANG, Y., SUN, X.; HUANG, Q. **Nitrogen application impacts on rice yield and nitrogen use efficiency under different water management regimes**. Science of the Total Environment, v. 656, p. 867- 875, 2019.

CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 6, sexto levantamento, p. 1.107, 2025.

DOTTO, A.P.; LANA, M.C.; STEINER, F.; E FRANDOLOSO, J.F. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sob diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 376-382, 2010.

DUARTE, P. P. M. B. **Aplicação do sensor portátil n-tester como ferramenta para estimar o status de nitrogênio em milho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)- Campus Rio Verde, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2024.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259. 2013.

HASSAN, M. A; YANG, M.; RASHEED, A.; YANG, G.; REYNOLDS, M.; XIA, X.; HE, Z. Um rápido monitoramento do NDVI ao longo do ciclo de crescimento do trigo para previsão de rendimento de grãos usando uma plataforma UAV multi-espectral. **Plant science**, v. 282, p. 95-103, 2019.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

JUSTIÇA, CHRISTOPHER O. et al. **O espectrorradiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS): sensoriamento remoto terrestre para pesquisa de mudanças globais**. Transações IEEE sobre geociência e sensoriamento remoto, v. 36, n. 4, pág. 1228-1249, 1998.

KAPPES, C. **Sistemas de cultivo de milho safrinha no Mato Grosso**. In: Seminário Nacional de Milho Safrinha, 12., 2013. Anais... Dourados: Embrapa/UFMGD, 2013.

KAPPES, C.; Arf, O.; Dal Bem, E. A.; Portugal, J. R.; Gonzaga, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2014.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 251-259, 2009.

LANDAU, E.C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. Milho: **Relação com o clima**. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho>. Acesso em: 7 out. 2022.

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 35-47. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/451/pdf_80>. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p35-47, 2014.

LI, F.; MIAO, Y.; FENG, G.; YUAN, F.; YUE, S.; GAO, X.; LIU, Y.; LIU, B.; USTIN, S. L.; CHEN, X. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge based spectral vegetation indices. **Field Crops Research**, v. 157, n 15, p. 111-123, 2014.

LI, Y., ZHANG, R., WANG, Y., & WANG, G. Impact of nitrogen fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. **Environmental Pollution**, v. 258, 2020.

LIN, X.; ZHOU, W.; ZHU, D.; CHEN, H.; ZHANG, Y. Nitrogen accumulation, remobilization and partitioning in rice (*Oryza sativa* L.) under the improved irrigation practice. **Field Crops Research**, v.96, n.2-3, p.448-54, 2006.

LOFTON, J.; TUBANA, B. S.; KANKE, Y.; TEBOH, J.; VIATOR, H.; DALEN, M. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. **Sensors**, v. 12, n. 6, p. 7529-7547, 2012.

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, E. R. Evolução dos índices de vegetação e sua relação com o estresse hídrico: uma Revisão. **Geofronter**, v. 7, 2021.

MILLER, J. J.; SCHEPERS, J. S.; SHAPIRO, C. A.; ARNESON, N. J.; ESKRIDGE, K. M.; OLIVEIRA, M. C.; GIESLER, L. J. Characterizing soybean vigor and productivity using multiple crop canopy sensor readings. **Field Crops Research**, v. 216, p. 22-31, 2018.

MIRANDA, R. A. **Milho Riqueza Dourada: Uma história de sucesso da civilização**. 829. ed. Porto Alegre - RS: Atuante Atualizada Agrícola A Granja, 1 jan. 2018. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/agranja/edicao/829/materia/8972>. Acesso em: 10 out. 2022.

MORIWAKI, T.; FALCIONI, R.; TANAKA, F. A. O.; CARDOSO, K. A. K.; SOUZA, L. A.; BENEDITO, E.; ANTUNES, W. C. Nitrogen-improved photosynthesis quantum yield is driven by increased thylakoid density, enhancing green light absorption. **Plant Science**, v. 278, p. 1-11, 2019.

OLIVEIRA, T. B.; PEIXOTO, L. A.; TEODORO, P. E.; ALVARENGA, A. A.; BHERING, L. L.; CAMPO, C. B. H. The number of measurements needed to obtain high reliability for

traits related to enzymatic activities and photosynthetic compounds in soybean plants infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **PloS One**, v. 13, 2018.

PEDRAZZI, A. D. Q.; BINOTTI, F. F. D. S.; COSTA, E.; CARDOSO, E. D. Crescimento e acúmulo de fitomassa em função do manejo de nitrogênio na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 410-417, 2016.

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA, C. J.; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p.214-226, 2013. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/472/pdf_90>. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p214-226

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. Clorofilômetros detectam demanda de nitrogênio em milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, p. 309, 1974

SADEGHI, S. M.; NOORHOSSEINI, S. A.; DAMALAS, C. A. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: the case of Lahijan, Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 95, p. 48-55, 2018.

SALDANHA, A. P. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho: métodos de aplicação**. 2003. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Agrícola, Alegrete, 2023.

SANGOI, L.; SILVA, L. M. M. D.; MOTA, M. R.; PANISON, F.; SCHMITT, A.; SOUZA, N. M. D.; SCHENATTO, D. E. Desempenho agrônomo do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1141-1150, 2015.

SANTANA, D. C. Fenotipagem de alta precisão do teor de nitrogênio em milho usando inteligência computacional. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Unidade Universitária de Aquidauana, Aquidauana, MS, 2021.

SANTOS, H.G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa Solos**, Brasília, DF, ed. 5 ed., rev. e ampl., 2018.

SILVA, E. C. D.; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L. D.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 725-733, 2005.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.286-297, 2005.

SILVA, E. E.; BAILO, F. H. R.; TEODORO, L. P. R.; SILVA JÚNIOR, C. A.; BORGES, R. S.; TEODORO, P. E. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield

prediction based on in situ observation. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, 2020.

TORRES, F. E.; SOUZA, L. C.; ANDRADE, L. H.; PEDROSO, F. F.; MATOSO, A. D. O.; TORRES, L. D.; BENETT, K. S. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 36 41, 2014.

VELOSO, C. A. C. et. al. Manejo da adubação nitrogenada no cultivo do milho sob sistema de plantio direto em diferentes densidades de semeadura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 82467-82477, 2020.

WOLFE, D. W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. Agronomy Journal Article Interactive Water and Nitrogen Effects on Senescence of Maize. II. Photosynthetic Decline and Longevity of Individual Leaves. **Agronomy Journal** , Univ. of California. Joint contribution of the College of Agric. and Life Sciences, Cornell Univ., and the Univ. of California, Davis. Cornell Vegetable Crops Paper, v. 80, n. 861, p. 865-870, 1988.

YANG, S., CHEN, K.; ZHU, B.; ZHANG, W., YIN, M.; DU, E.; & ZHENG, C. **The influence of nitrogen fertilization on crop production and ecohydrology in an endorheic river basin**. Journal of Hydrology, v. 625, 2023.