

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE –
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS – AGRONOMIA

MANEJO DE NITROGÊNIO E USO DE SENSOR
MULTIESPECTRAL NA CULTURA DO MILHO

Mestranda: Alice Maria Albert
Orientador: Prof. DSc. Gustavo Castoldi

Rio Verde - GO
Fevereiro – 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE –
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS – AGRONOMIA

MANEJO DE NITROGÊNIO E USO DE SENSOR
MULTIESPECTRAL NA CULTURA DO MILHO

Mestranda: Alice Maria Albert
Orientador: Prof. DSc. Gustavo Castoldi

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO
Fevereiro – 2022

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Alice Maria Albert

Matrícula:

2020102310140010

Título do trabalho:

Manejo de nitrogênio e uso de sensor multiespectral na cultura do milho

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 23 / 08 / 2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:


- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, GO


Local

23 / 08 / 2022

Data


Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 17/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/201 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 08:00h (oito e trinta horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Orientador), Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador externo) e Profª. Dra. Mellissa Ananias Soler da Silva (Avaliadora externa) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **ALICE MARIA ALBERT** discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretaria do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador externo)

Profª. Dra. Mellissa Ananias Soler Da Silva (Avaliadora externa)

Documento assinado eletronicamente por:

- Mellissa Ananias Soler da Silva, Mellissa Ananias Soler da Silva - Professor Avaliador de Banca - Embrapa Arroz e Feijão (00348003001435), em 25/02/2022 16:20:26.
- Carlos Ribeiro Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/02/2022 12:20:10.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/02/2022 12:16:15.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 361251
Código de Autenticação: 59da70e959



Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

AAL333 Albert, Alice Maria
m MANEJO DE NITROGÊNIO E USO DE SENSOR
MULTIESPECTRAL NA CULTURA DO MILHO / Alice Maria
Albert; orientador Gustavo Catoldi. -- Rio Verde,
2022.
55 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências
Agrárias Agronomia) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2022.

1. Veículos Aéreos não Tripulados. 2.
Sensoriamento Remoto. 3. Adubação nitrogenada. 4.
Produtividade de grãos. I. Catoldi, Gustavo, orient.
II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Jesus Cristo por me conceder saúde e por sempre me iluminar, me proteger e me guiar durante as minhas caminhadas.

Aos meus pais, Jose Garibaldi e Lenir Madalena, por estarem sempre ao meu lado me educando e me ensinando que a única coisa que ninguém rouba neste mundo é a educação. Por nunca medirem esforços para me proporcionarem uma educação de qualidade e pelos exemplos e ensinamentos compartilhados.

Aos meus irmãos, Heitor Feliciano, Jose Arthur e Ruiz Berft, uma das peças-chaves por me fazer ser uma pessoa melhor no mundo, sempre fez de tudo para que eu me empenhasse ao máximo na minha educação e além de impulsionar para correr atrás dos meus objetivos, sendo estes as vezes muito difíceis.

Aos meus avôs, Seu Eduardo Berft e Dona Celanira Berft, que foram meus exemplos de humildade e simplicidade, e, também sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas minhas decisões.

Ao meu amigo, professor e orientador Dr. Gustavo Castoldi, pelas inúmeras horas de orientação desde o terceiro período da graduação, pela dedicação e pela compreensão. Se tornou um amigo indispensável que sempre me apoiou e me proporcionou conselhos, seja eles profissionais como também pessoais que levarei para toda a vida.

Ao Laboratório de Química Agrícola e ao Laboratório de Drones e Vants na Agricultura do IF Goiano - Campus Rio Verde que me forneceu espaço, estrutura e equipamentos imprescindíveis para condução e avaliação do trabalho, bem como toda a equipe do mesmo pelo auxílio na execução deste.

À Capes, pela concessão da bolsa de mestrado, uma ajuda financeira inestimável. Uma ajuda que é necessária para o pagamento das despesas e para o investimento profissional. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade de fornecer a infraestrutura para o desenvolvimento das atividades.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Alice Maria Albert, nascida no município de Campo Bom - RS, em 14 de dezembro de 1996, é filha de Lenir Madalena Bueno Berft e José Garibaldi Albert. Iniciou seus estudos em 2015 no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, onde cursou Agronomia. Em 2020 ingressou no Mestrado de Ciências Agrárias - Agronomia pelo Instituto Federal Goiano - Rio Verde – GO, local onde a pesquisa passou a ser praticada com maior intensidade.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURA	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	ix
RESUMO.....	05
ABSTRACT.....	06
INTRODUÇÃO.....	07
OBJETIVOS.....	11
CAPÍTULO I.....	12
Introdução.....	14
Material e Métodos.....	15
Resultados e Discussão.....	17
Conclusões.....	28
CAPÍTULO II.....	33
Introdução.....	35
Material e Métodos.....	37
Resultados e Discussão.....	40
Conclusões.....	46
Conclusão Geral.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Planting dates, mean minimum and maximum temperatures, and accumulated rainfall depths during the conduction of the experiments (Inmet, 2022).....	15
Tabela 2. Physical and chemical attributes of the 0-0.2 m soil layer.....	16
Tabela 3. Analysis of variance for dry weight (V6 or V9 stage), number of grain rows per ear, number of grains per row, one-thousand grain weight, and grain yield of second crop maize as a function of nitrogen rates applied at planting (0 and 30 kg ha ⁻¹) and as topdressing, in five areas in southwestern Goiás.....	18

CAPÍTULO II

Tabela 1. Caracterização de solo nas camadas de 00 - 0,2 m das áreas onde foi conduzido o estudo.....	37
Tabela 2. Equação dos índices de vegetação calculados a partir de imagens obtidas com uma câmera multiespectral (Sentera, Saint Paul, EUA) embarcado em VANT.....	39
Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis NDVI, DVI, DI1 e SAVI cultivados em segunda safra em 3 áreas do Sudoeste Goiano.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Dry weight of second crop maize plants (V6 phenological stage) in areas in southwestern Goiás (A1 and A2) as a function of N topdressing rates applied at the V3 stage.....20
- Figura 2.** Dry weight of second crop maize plants (V6 phenological stage) in areas in southwestern Goiás (A3 and A4) as a function of nitrogen rates applied at planting (0 and 30 kg ha⁻¹) and as topdressing at the V3 stage.....21
- Figura 3.** One-thousand grain weight of second crop maize plants in areas (A1, A2, A3, and A4) in southwestern Goiás as a function of N rates applied as topdressing at the V3 stage.....22
- Figura 4.** Number of grains per row in ears of second crop maize plants in areas (A1 and A4) in southwestern Goiás as a function of nitrogen rates applied as topdressing at the V3 stage.23
- Figura 5.** Grain yield of second crop maize plants in areas (A1, A3, and A4) in southwestern Goiás as a function of N topdressing rates at the V3 stage.....25
- Figura 6.** Grain yield of second crop maize crops in southwestern Goiás as a function of nitrogen rates applied at planting (0 or 30 kg ha⁻¹) and as topdressing at the V3 stage.....27

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentra embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.....40
- Figura 2.** Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Vegetação de Diferença

(DVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.....42

Figura 3. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Diferença 1 (DI1) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1, 2 e 3.....43

Figura 4. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.....45

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado/Descrição	Unidade de Medidas
Nir	Banda do Infravermelho	-
Red	Banda do Vermelho	-
DI1	Índice de Diferença 1	-
DVI	Índice de Vegetação de Diferença	-
V6	Estádio Vegetativo 6	-
V9	Estádio Vegetativo 9	-
g	Gramas	-
kg ha ⁻¹	quilogramas por hectare	-
nm	Nanômetros	-
N	Nitrogênio	-
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada	-
%	Porcentagem	-
sc ha ⁻¹	Sacas por hectare	-
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	-
<i>x med</i>	Valor medido	-
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados	-
Xv	X Vértice	-
Yv	Y Vértice	-

RESUMO

ALBERT, A. M. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Fevereiro, 2022. **Manejo de nitrogênio e uso de sensor multiespectral na cultura do milho.** Orientador: Dr. Gustavo Castoldi

O milho é um dos principais grãos comercializados, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Todavia, a busca por altas produtividades na agricultura torna o manejo de adubação um fator de elevada importância, sendo o nitrogênio um dos nutrientes responsáveis pela limitação da produção. Como forma de maximizar o uso eficiente de nitrogênio, esta pesquisa teve como objetivo verificar a relação do aumento das doses e o uso de adubação nitrogenada em estágio inicial com os parâmetros produtivos do milho, bem como analisar a relação dos índices de vegetação, obtidos por meio de câmeras multiespectrais embarcadas em drone, com o teor de nitrogênio na folha em estágio vegetativo. Para tal, foram conduzidos cinco ensaios na região Sudoeste do Estado de Goiás, nas safras 2019 e 2020. Em relação ao estudo do manejo de N no milho, houve resposta positiva entre o aumento do uso de N e parâmetros produtivos. A maior média de massa seca na área 1 (20,14 kg ha⁻¹), a massa de mil grãos a área 4 foi que obteve maior média (352,65 g) e a produtividade final da cultura a área 5 (8.232,60 kg ha⁻¹) demonstrou elevada produtividade em relação ao restante das áreas estudadas. A adubação nitrogenada na semeadura aumentou a produtividade do milho e melhorou o efeito da adubação em cobertura na área 2. Também foram observados ótimos ajustes entre os índices de vegetação utilizados no estudo e o teor de N em diferentes áreas agrícolas. Na A1 o índice que teve seu maior destaque, foi o DII ($R^2 = 94,79\%$), na A2 o índice NDVI possuiu maior R^2 (89,46%), já na A3 o índice DII obteve resultado significativo aos demais na área. Os índices de vegetação estudados apresentaram elevada relação com o teor de nitrogênio na cultura do milho, podendo ser um ótimo parâmetro para mensuração de N no milho.

PALAVRAS-CHAVE: Veículos Aéreos não Tripulados, Sensoriamento Remoto, Adubação nitrogenada, Produtividade de grãos.

ABSTRACT

ALBERT, A. M. Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology – Campus Rio Verde, February, 2022. **Nitrogen management and use of multispectral sensor in corn crop.** Advisor: Dr. Gustavo Castoldi

Corn is one of the main commercialized grains, with Brazil being the third largest producer in the world. However, the management by productivity in the agriculture of fertilization of high importance, being the superior search one of the nutritional factors for the limitation of the production. As a way of maximizing the efficient use of nitrogen, this research aimed to control the ratio of increasing rates of fertilization in the initial stage with the indices of nitrogen production in the initial stage with the indices of nitrogen production, as well as the use of studies of the relationship between the consumption increases, obtained through multispectral cameras embedded in a drone, with the information content in the leaf in the vegetative stage. Regarding the study of N management in maize, there was a positive response between the increase in the use of N parameters and production. Highlighting the average dry mass in area 1 (0.14 kg ha^{-1}), the mass of one thousand grains in area 4 was the one that obtained the average (352.65 g) and the highest final productivity of the crop was in area 5 ($8,232.60 \text{ kg ha}^{-1}$) high productivity in relation to the remaining areas. Nitrogen fertilization increased corn productivity and improved the effect of topdressing fertilization in area 2. Great adjustments were also observed between the agricultural indices used in the study and the N in different agricultural areas. In A1, the index that stood out was DI1 ($R^2 = 94.79\%$), in A2, the NDVI index has R^2 (89.46%), in A3, the DI1 index obtained results from the others in the area. The reference indices of optimal contents for the relationship between the crop and the ideal corn cannot be an optimal parameter for the relationship between the crop and the ideal corn.

KEY WORDS: Unmanned Aerial Vehicles, Remote Sensing, Nitrogen fertilization, Productivity, Sensors.

INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) é um elemento de grande importância para qualquer organismo vivo, é o nutriente mais exigido pelas plantas. Em sua grande maioria é encontrado na forma gasosa, na atmosfera, constituindo cerca de 72% do volume do ar (Faquin, 2005). A busca por altas produtividades na agricultura torna o manejo de adubação um fator de elevada importância, sendo o N um dos nutrientes responsáveis pela limitação da produção agrícola (Lassaletta et al., 2014). Na cultura do milho, o N representa de 2 a 4 % da matéria seca, sendo o nutriente mais importante devido ao fato de estar ligado a eficiência fotossintética e taxa de área foliar (Elazab et al., 2016; Gabriel et al., 2017). Nesse contexto, o N é essencial para o crescimento, vigor, coloração e rendimento da planta (Gao et al., 2020), sendo a obtenção de altas produtividades condicionadas ao uso eficiente desse nutriente.

A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados, além de reduzir a eficiência de uso e rentabilidade, pode também resultar em problemas ambientais, tais como poluição das águas superficiais e das águas subterrâneas (Zhu et al., 2009). Utilizar eficientemente o N significa atingir melhores resultados com o mínimo de perda do nutriente. Assim, a adubação nitrogenada ideal é representada por aquela que fornece o N na quantidade adequada, acompanhando a absorção das culturas nas épocas necessárias. Para atingir esse objetivo, algumas práticas são interessantes de serem utilizadas, como a aplicação de fertilizantes com inibidores de urease e de liberação controlada, aplicação de N na semeadura e parcelamento da dose.

A análise de imagens multiespectrais obtidas por meio do uso de VANTs (Veículos Aéreos não Tripulados) pode ser uma ótima ferramenta para ajudar a diagnosticar precocemente a alteração do status nutricional da cultura do milho e detectar os níveis de deficiência da planta (Romualdo et al., 2018). A utilização de sensores multiespectrais acoplados em VANTs pode contribuir para a recomendação de N no milho, identificando bandas sensíveis para estimar o N (Zhao et al., 2018) e fornecer informações do estado nutricional (Gabriel et al., 2017). Verifica-se que o uso correto desta tecnologia colabora para redução do custo da adubação nitrogenada, além de auxiliar na identificação da melhor época e dose estimada a ser recomendada.

Os sensores multiespectrais registram os valores de algumas bandas dentro da região visível e infravermelho (400 a 1.500 nm) e, a partir destas assinaturas de refletância são gerados os índices de vegetação que se correlacionam com variáveis da planta, tais

como biomassa, acúmulo e concentração de N (Corti et al., 2017). O sucesso na identificação de índices de vegetação – obtidos a partir do processamento de imagens aéreas – que se relacionam muito bem com o status de N em plantas de milho é certamente de grande importância e pode, sobretudo, balizar o desenvolvimento de algoritmos a serem utilizados no manejo de N para tal cultura, podendo resultar em aumento da eficiência produtiva.

Referências bibliográficas

Corti, M., Gallina, P. M., Cavalli, D., & Cabassi, G. Hyperspectral imaging of spinach canopy under combined water and nitrogen stress to estimate biomass, water, and nitrogen content. **Biosystems Engineering**, v. 158, p. 38-50, 2017.

Elazab, A., Ordóñez, R. A., Savin, R., Slafer, G. A., & Araus, J. L. Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. **European Journal of Agronomy**, v. 73, p. 11-24, 2016.

Faquin, V. **Nutrição Mineral de Plantas**, FAEPE, 2005.

Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonsoayuso, M., Quemada, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. **Biosystems engineering**, v. 160, p. 124-133, 2017.

Gao, C., El-Sawah, A. M., Ali, D. F. I., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., & Sheteiwy, M. S. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 319, 2020.

Lassaletta L, Billen G, Grizzetti B, Anglade J, Garnier J. 50-year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. **Environ Res Lett**; 9:1-9, 2014.

Mumbach, G. L., Kotowski, I. E., Schneider, F. J. A., Mallmann, M. S., Bonfada, E. B., Portela, V. O., ... & Kaiser, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, 18.2: p. 97-103, 2017.

Romualdo, L. M., Luz, P. H. D. C., Baesso, M. M., Devecchio, F. D. F. D. S., & Bet, J. A. Índices espectrais para identificação de deficiência de nitrogênio em plantas de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 183-191, 2018.

Zhao, B., Duan, A., Ata-Ul-Karim, S. T., Liu, Z., Chen, Z., Gong, Z., ... & Ning, D. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. **European Journal of Agronomy**, v. 93, p. 113-125, 2018.

Zhu, J., Wang, K., Deng, J., & Harmon, T. Quantifying nitrogen status of rice using low altitude UAV-mounted system and object-oriented segmentation methodology. **In: ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.** American Society of Mechanical Engineers, p. 603-609, 2009.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a resposta do milho segunda safra à adubação nitrogenada de base e doses de N em cobertura, bem como a possibilidade do uso de índices de vegetação para estimar o status de N na cultura.

Objetivo Específico

- Avaliar parâmetros produtivos do milho cultivado em segunda safra em resposta ao fornecimento, ou não, de N na semeadura, e de doses complementares em cobertura.
- Relacionar índices de vegetação obtidos a partir de sensor multiespectral embarcado em VANT com os teores de N determinados nas folhas do milho.

CAPÍTULO I

Nitrogen management for second crop maize in southwestern Goiás Manejo de nitrogênio no milho cultivado em segunda safra no Sudoeste Goiano

(Normas: Revista Ciência e Agrotecnologia)

Abstract: Nitrogen (N) fertilizer management is a key factor for the success of maize crops. The objective of this work was to evaluate the response of second crop maize to combinations of N rates at planting and as topdressing. Five experiments were conducted in areas in southwestern Goiás in 2019 and 2020, evaluating rates of 0 and 30 kg ha⁻¹ of N applied at planting, combined with five N rates as topdressing at the maize V3 stage to a total of 0, 75, 150, 225, and 300 kg ha⁻¹. Dry matter production at V6 and V9 stages and production parameters at harvesting were evaluated. N application does not affect the number of grains per ear, but increases the number of grains per row and, mainly, the grain weight. The crop responded positively to increases in the total N rate in 4 of the 5 experiments: in 1 of them, N fertilizer application at planting contributed to increase N use efficiency from topdressing, resulting in a higher maize yield, which was reached with a lower N rate; in the other 3, N topdressing application at V3 was sufficient for the crop. However, the highest mean maize grain yield (8,233 kg ha⁻¹) was found in the treatment that presented no response to N fertilizer application. It was probably due to the better chemical fertility conditions of the area combined with sufficient and adequate distribution of rainfall, which denotes the difficult of predicting responses and the need to consider multiple factors for N application recommendations.

Index terms: *Zea mays* L.; N fertilizer application; Grain yield.

Resumo: O manejo de nitrogênio na cultura do milho é fator chave para o sucesso de seu cultivo, de modo que se objetivou com esse estudo avaliar a resposta da cultura, em segunda safra, à combinação de doses de N na adubação de base (semeadura) e de cobertura. Para tal, em 2019 e 2020 foram realizados cinco experimentos em áreas da

região Sudoeste do Estado de Goiás, testando 0 e 30 kg ha⁻¹ de N aplicados na base combinados com cinco doses totais de N (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹) completadas em cobertura, quando as plantas estavam em estágio V3. Avaliou-se a produção de massa seca na fase vegetativa V6 ou V9, e, por ocasião da colheita, os parâmetros produtivos. Verificou-se que a aplicação de N não interfere no número de fileiras de grãos por espiga, mas aumenta o número de grãos por fileira e, principalmente, o peso de grãos. Em 4 dos 5 ensaios, a cultura respondeu positivamente ao incremento da dose total de N; em 1 desses, a adubação de base contribuiu para aumento da eficiência de uso do N da adubação de cobertura, de modo que a produtividade do milho foi maior e atingida com uma dose total de N menor. Nos outros 3, a aplicação total do N em cobertura e em dose única foi suficiente para a cultura. A maior produtividade média de grãos de milho (8.233 kg ha⁻¹), no entanto, ocorreu justamente no ensaio com ausência de resposta à adubação nitrogenada – fato esse devido provavelmente à condição de maior fertilidade química da área associada a uma adequada e suficiente distribuição de chuvas, o que evidencia a dificuldade de se prever respostas e a necessidade de se considerar múltiplos fatores na recomendação de N.

Termos para indexação: *Zea mays* L.; Adubação nitrogenada; Produtividade de grãos.

INTRODUCTION

Adequate availability of nutrients to plants throughout vegetative and reproductive stages is one of the most important factors to obtain a high grain yield in maize (*Zea mays* L.) crops (Von Pinho et al., 2009), mainly nitrogen (N). Increases in the world food production have resulted in expansion of maize crops and, consequently, increases in consumption of N fertilizers due to the high N demand of these plants (Pires et al., 2015; Sui et al., 2015; Jankowski et al., 2018; Shen et al., 2018)

In plants, N is a constituent of chlorophylls, proteins, enzymes, DNA, and RNA and is important for metabolic, biochemical, and physiological processes; thus, it is the most accumulated nutrient in most cultivated plants (Marschner; Kirkby; Cakmak, 1996; Hawkesford et al., 2012; Elazab et al., 2016; Gabriel et al., 2017). N deficiency in maize reduces plant height, leaf area index, shoot and root growth, biomass production, number of ears per plant, and consequently, reduces grain yield (Li et al., 2009; Wang; Xing, 2017; Qi; Hu; Xue, 2020).

N use efficiency in plants is not high due to combination between climate conditions and N transformation processes in the soil that are mediated by microorganisms, resulting in N losses by volatilization and leaching (Cantarella ; Duarte, 2004; Afshar et al., 2018; Panday et al., 2020). This dynamic makes the management and recommendation of N complex. The correct use of N fertilizers at optimal rates results in increases in production parameters of maize crops and decreases in N losses, reducing production costs and potential environmental damages. The main N source used in Brazil is urea, mainly due to its high N concentration (45% to 46%), which results in lower prices per unit of nutrient applied (Embrapa, 2020; IFA, 2022).

N fertilizer application for maize crops is carried out at planting and as topdressing until V4 to V6 stages. Results have shown that N fertilizer application at planting can be a determinant factor for a better initial growth of maize crops, increasing the production potential and even the topdressing efficiency (Simão et al., 2021). Studies conducted on second crop maize in the states of Mato Grosso and São Paulo, Brazil, compared applications of 0 and 39 kg ha⁻¹ of N at planting and found production increases only when applying N at planting (Duarte; Cantarella; Kappes, 2017).

In maize crops grown in the Central-West region of Brazil under rainfed conditions, N is commonly applied as topdressing when the plants have up to 6 fully expanded leaves (V6 stage), and in most cases, with a single application. In addition to

be operationally interesting, results have shown that even high N rates ($> 180 \text{ kg ha}^{-1}$) applied in a single application at initial stages (V3 to V6) result in increases in maize yield (Lyra et al., 2014). Maize crop responses to N fertilizer application are variable and dependent on several factors, such as the management systems adopted (conventional, no-tillage, and crop rotation), previous crop, hybrid, region (climate, soil, and altitude) and planting season. The literature shows different results, with the highest maize yields obtained with N rates from 20 to 90 kg ha^{-1} (Simão et al., 2021), 60 to 120 kg ha^{-1} (Amado et al., 2017), 112 kg ha^{-1} (Silva et al., 2016), or even 250 kg ha^{-1} (Lyra et al., 2014) as topdressing.

Therefore, determining the optimal N rate for maize crops is a complex task, as there are different variables that should be taken in consideration. In this context, the objective of this work was to evaluate N management strategies for second crop maize through the application or not of N at planting and application of different N rates as topdressing, in different agricultural areas in southwestern Goiás.

MATERIAL AND METHODS

The study comprised five field experiments, carried out in grain producing areas in the southwest region of the state of Goiás (municipalities of Jataí, Rio Verde, and Montividiu), Brazil. According to the Köppen (1931) international climate classification, the climate of the region is Aw, tropical with a dry winter; the regions presented rainfall depths of approximately 359 to 595 mm during the experiments (Table 1) (Alvares, 2013).

Table 1: Planting dates, mean minimum and maximum temperatures, and accumulated rainfall depths during the conduction of the experiments (INMET, 2022)

	Mean Maximum Temperature (°C)	Mean Minimum Temperature (°C)	Accumulated rainfall depth (mm)	Planting date
Area 1	23.30	21.80	595.20	February 02, 2019
Areas 2 and 3	23.50	22.00	388.84	February 19, 2019
Area 4	23.40	21.90	359.60	February 13, 2020
Area 5	28.70	26.70	487.30	February 21, 2020

The experiments were conducted in two second crop seasons (2019 and 2020) and the experimental areas were termed A1 to A5 for a better understanding, namely: A1, municipality of Jataí, Rio Verdinho 3 Barras Farm (2019 second crop); A2 and A3, municipality of Rio Verde, research station of the Group Terra Forte (2019 second crop);

A4, municipality of Jataí, Rio Verdinho 3 Barras Farm (2020 second crop); and A5, municipality of Montividiu, Goiás State Agriculture Institute (2020 second crop).

The soils of the areas were sampled for the characterization of fertility and granulometry before the implementation of the experiments (Table 2).

Table 2: Physical and chemical attributes of the 0-0.2 m soil layer.

Area	pH CaCl ₂	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	OM	Sand	Silt	Clay
		mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----						g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
1	5.35	7.92	0.22	2.16	0.58	0.02	1.63	2.96	40.4	420	140	440
2	5.75	5.32	0.31	1.98	0.80	0.02	1.06	3.09	29.4	460	120	420
3	5.45	2.26	0.11	0.99	0.59	0.03	1.06	1.69	28.2	640	120	240
4	5.32	7.90	0.22	2.02	0.51	0.02	1.63	2.75	40.4	420	140	440
5	5.70	6.60	0.30	3.76	1.21	0.01	1.60	5.27	42.2	340	160	500

The soils of all study areas were prepared in a no-tillage system, with planting on the straw of preceding crops. In A1 and A4, the preceding crop was maize, and in the other areas (A2, A3, and A5) the preceding crop was soybean.

A randomized block experimental design in a 5×2 factorial arrangement with four replications was used for each experiment, consisted of rates of 0 and 30 kg ha⁻¹ of nitrogen (N) at planting, combined with five N rates as topdressing at the maize V3 stage to a total of 0, 75, 150, 225, and 300 kg ha⁻¹.

The hybrid Dekalb DKB390 was used in all experiments; the seeds were sown mechanically, with spacing of 0.5 m between rows for a population of 60,000 plants ha⁻¹; 30 kg ha⁻¹ of N were applied at the same day of planting for the treatments with fertilizer application at planting; the fertilizer was applied manually to the side of each planting row. Only one topdressing was carried out and was applied at the maize V3 stage; the fertilizer was manually broadcasted over the total plot area, thus completing the total rates of each treatment. Urea (45% of N) treated with N-butyl thiophosphoric triamide (NBPT), which is a urease-inhibiting compound, was used as a source of N for the applications of fertilizers at planting and as topdressing.

Five plants of each plot were sampled at the maize V6 (A1, A2, A3, and A4) and V9 (A5) stages; they were cut at the ground level, taken to a laboratory, dried in a forced air circulation oven at 65 to 70 °C until constant weight, and then weighed in a precision balance to determine the dry weight.

Ears within two meters of the four central rows of each plot were collected at harvesting. Ten ears per plot were used to determine the number of grain rows and number

of grains per row. The ears were mechanically threshed, and the grains were evaluated for moisture content and weighted to calculate the yield corrected to 13% moisture. One-thousand grain weight was determined by weighing 8 subsamples of 100 grains per plot.

The data collected were subjected to analysis of variance and to Tukey's test at 5% probability to compare the treatments with N fertilizer application at planting and the fit to polynomial linear or quadratic models as a function of N topdressing rates. The analyses were carried out in the Sisvar program (Ferreira, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

The number of grain rows per ear was the only variable not affected by N management in the evaluated areas (Table 3). This result was found because this production component variable is more connected to genetic potential than fertilizer application (Bertheloot; Martre; Andrieu, 2008; Valderrama et al., 2011).

The interaction between N fertilizer application at planting and as topdressing was significant only for dry weight at the maize V6 stage in the areas A3 and A4 and for grain yield in the area A2 (Table 3).

Table 3: Analysis of variance for dry weight (V6 or V9 stage), number of grain rows per ear, number of grains per row, one-thousand grain weight, and grain yield of second crop maize as a function of nitrogen rates applied at planting (0 and 30 kg ha⁻¹) and as topdressing, in five areas in southwestern Goiás.

Variable	Planting (P)	Topdressing (T)	P*T	CV (%)	\hat{x}
Jatai – GO 2019 second crop (A1)					
Dry weight V6	0.702 ^{ns}	3.557 **	1.200 ^{ns}	25.3	20.14 kg ha ⁻¹
One-thousand grain weight	5.852 ^{ns}	15.790**	0.850 ^{ns}	4.93	341.44 g
Number of grain rows	0.859 ^{ns}	1.765 ^{ns}	0.143 ^{ns}	6.00	17.05
Number of grains per row	0.368 ^{ns}	10.203**	0.312 ^{ns}	5.65	32.28
Grain yield	0.150 ^{ns}	19.058**	0.853 ^{ns}	10.2	5,451.80 kg ha ⁻¹
Rio Verde – GO 2019 second crop (A2)					
Dry weight V6	22.622 ^{ns}	5.483**	1.314 ^{ns}	19.9	17.01 kg ha ⁻¹
One-thousand grain weight	0.001 ^{ns}	5.139**	0.530 ^{ns}	4.79	315.70 g
Number of rows of grains	0.055 ^{ns}	1.185 ^{ns}	0.399 ^{ns}	4.33	31.10
Number of grains per row	0.190 ^{ns}	0.490 ^{ns}	1.402 ^{ns}	4.40	17.31
Grain yield	4.159 ^{ns}	5.148**	4.956**	6.80	6,280.49 kg ha ⁻¹
Rio Verde – GO 2019 second crop (A3)					
Dry weight V6	108.381**	6.712**	3.122*	11.6	16.35 kg ha ⁻¹
One-thousand grain weight	0.006 ^{ns}	3.101*	1.195 ^{ns}	4.23	321.28 g
Number of rows of grains	0.008 ^{ns}	0.907 ^{ns}	1.195 ^{ns}	4.16	17.23

Number of grains per row	0.188 ^{ns}	1.556 ^{ns}	0.660 ^{ns}	4.65	32.17
Grain yield	2.147 ^{ns}	7.018 ^{**}	0.691 ^{ns}	6.49	3,547.48 kg ha ⁻¹
Jatai – GO 2020 second crop (A4)					
Dry weight V6	2.654 ^{ns}	9.281 ^{**}	3.242 [*]	19.7	15.98 kg ha ⁻¹
One-thousand grain weight	0.592 ^{ns}	12.050 ^{**}	0.370 ^{ns}	4.16	352.65 g
Number of rows of grains	0.00 ^{ns}	0.359 ^{ns}	1.316 ^{ns}	4.31	16.75
Number of grains per row	0.940 ^{ns}	2.738 [*]	1.984 ^{ns}	4.00	36.73
Grain yield	1.937 ^{ns}	5.817 ^{**}	0.774 ^{ns}	4.18	6,447.01 kg ha ⁻¹
Montividiu – GO 2020 second crop (A5)					
Dry weight V9	8.387 ^{**}	1.209 ^{ns}	0.888 ^{ns}	13.6	87.87 kg ha ⁻¹
One-thousand grain weight	4.523 ^{ns}	1.933 ^{ns}	1.469 ^{ns}	9.06	305.98 g
Number of rows of grains	1.893 ^{ns}	1.313 ^{ns}	0.927 ^{ns}	4.85	16.58
Number of grains per row	1.11 ^{ns}	0.350 ^{ns}	0.494 ^{ns}	9.17	76.93
Grain yield	1.178 ^{ns}	0.301 ^{ns}	0.482 ^{ns}	10.6	8,232.60 kg ha ⁻¹

In A5, the application of nitrogen (N) fertilizer affected only the dry weight at the maize V9 stage, with the highest growth found in plants subjected to N application at planting (93.352 kg ha⁻¹).

Fertilizer application at planting provided a better initial growth of maize plants. Increases in maize initial growth result in increases in production potential, as the crop has high demand of N at initial development stages; it is an important element for the definition of maize production potential, which is defined before planting (Resende et al., 2018, Simão et al., 2021). The application of 45 kg ha⁻¹ of N at planting resulted in increases in maize grain yield, with values between 805 and 1,506 kg ha⁻¹ (Simão et al., 2021). In the present work, increases were found only for the vegetative stage in one area (A5); the treatments were not sufficient to result in differences in grain yield.

However, A5 presented higher grain yield than the other evaluated areas, with a mean of 8,233 kg ha⁻¹, which is 27% higher than the mean yield of the state of Goiás (6,495 kg ha⁻¹) (Conab, 2021). One of the possible explanations for this result is that the area presents a better chemical fertility due to higher contents of clay, organic matter, and mainly Ca and Mg (Table 2), which, combined with the adequate rainfall distribution, may have limited the differentiation between treatments.

The dry weight data at the vegetative stage fitted to linear and quadratic models as a function of N topdressing rates in A1 and A2, respectively (Figure 1). In A1, the dry weight at V6 stage increased as the N rate was increased up to 300 kg ha⁻¹; and in A2, it increased up to the N rate of 108 kg ha⁻¹.

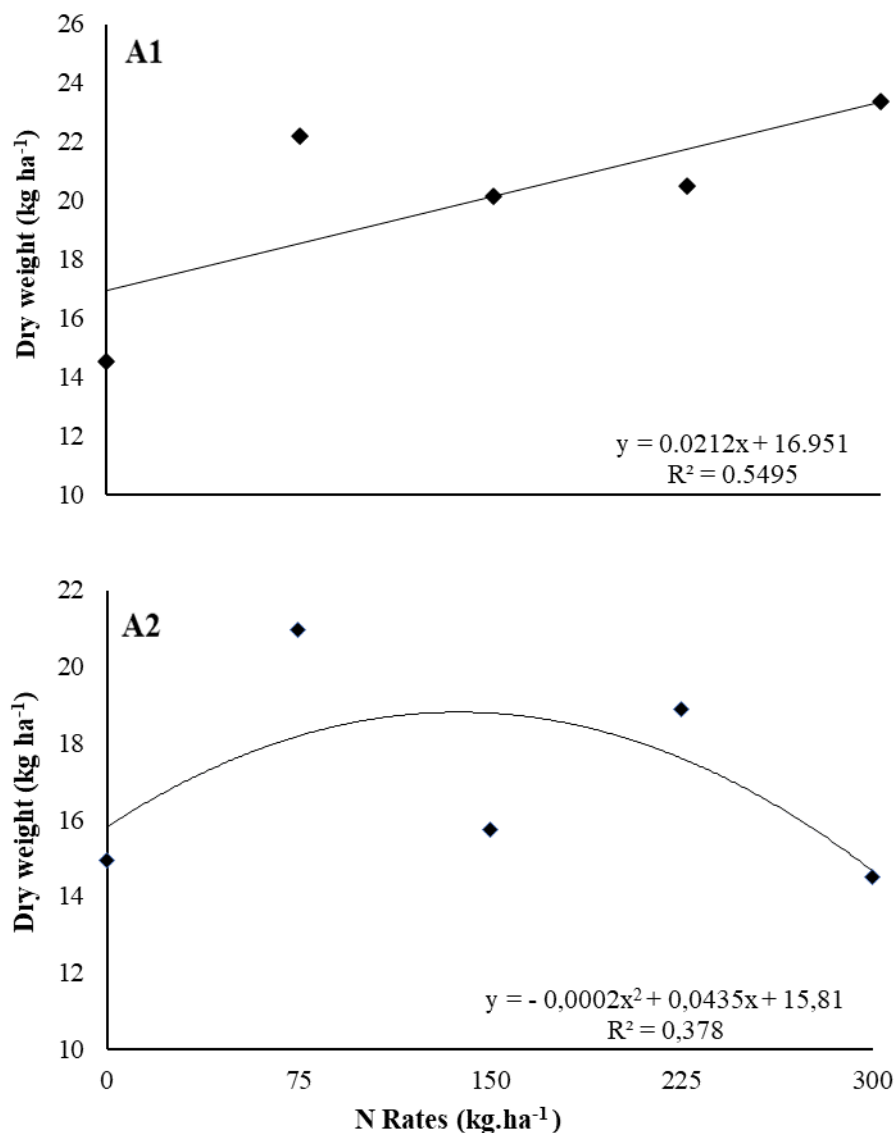


Figure 1. Dry weight of second crop maize plants (V6 phenological stage) in areas in southwestern Goiás (A1 and A2) as a function of N topdressing rates applied at the V3 stage.

The statistical breakdown of the interaction between fertilizer application at planting and as topdressing for dry weight at the vegetative stage (Figure 2) showed that the application of 30 kg ha⁻¹ N at planting resulted in a better N use from topdressing, as the dry weight at the V6 stage in both areas (A3 and A4) presented an increasing linear angle coefficient. No significant difference was found between fertilizer applications at planting (0 and 30 kg ha⁻¹) for the total rate of 300 kg ha⁻¹ in both areas (A3 and A4); thus, the highest rate evaluated did not result in high increases in dry weight. In A3, the

application of 30 kg ha⁻¹ of N at planting resulted in high mean dry weight when compared to the treatments with no N application.

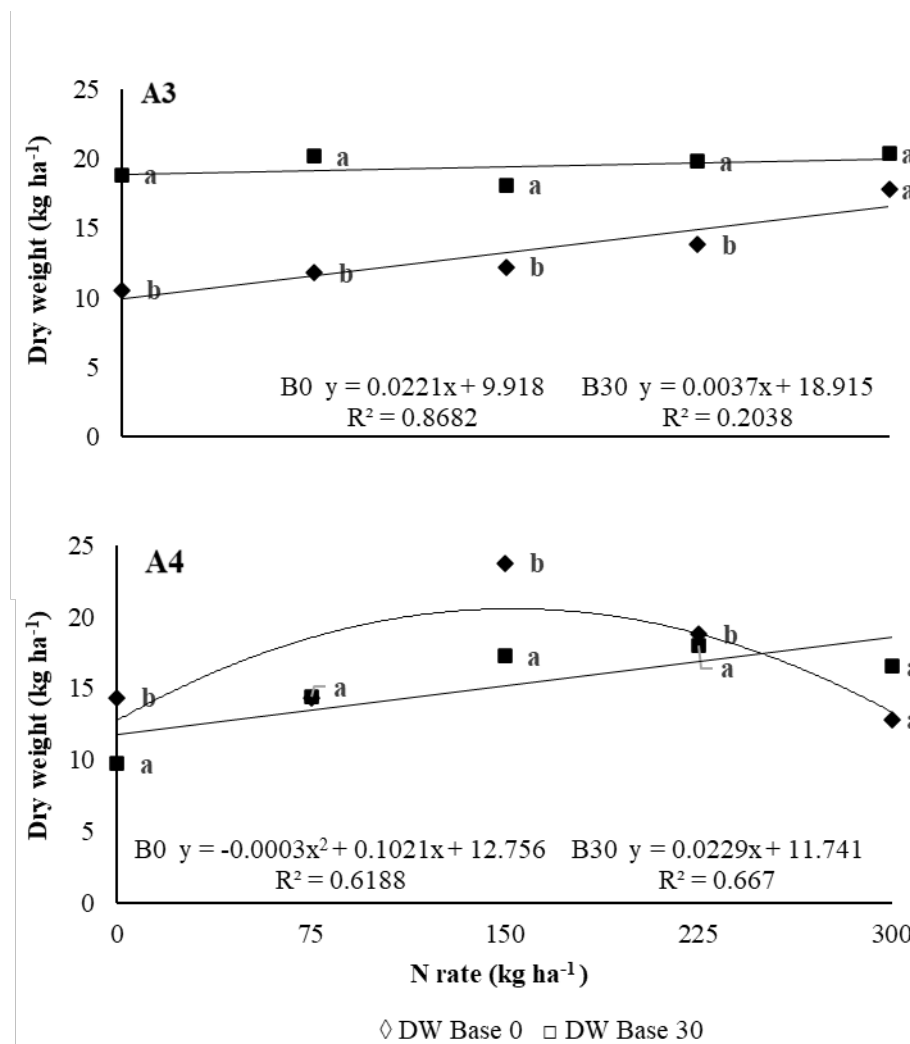


Figure 2. Dry weight of second crop maize plants (V6 phenological stage) in areas in southwestern Goiás (A3 and A4) as a function of nitrogen rates applied at planting (0 and 30 kg ha⁻¹) and as topdressing at the V3 stage.

The results of one-thousand grain weight found in the areas A1, A2, A3, and A4 in response to N topdressing rates are shown in Figure 3. Increases in N rates applied resulted in positive effects on one-thousand grain weight, and the data fitted to linear (A1 and A4) and quadratic (A2 and A3) equations, with the highest grain weight found for the estimated N rates of 233 and 172 kg ha⁻¹, respectively.

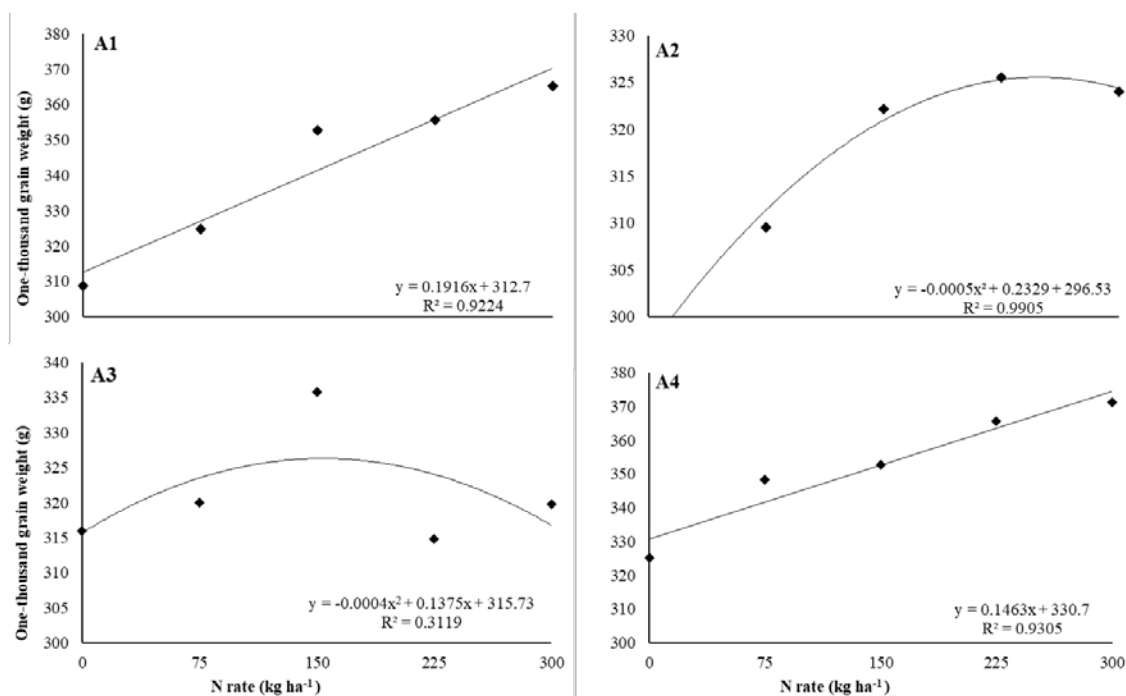


Figure 3. One-thousand grain weight of second crop maize plants in areas (A1, A2, A3, and A4) in southwestern Goiás as a function of N rates applied as topdressing at the V3 stage.

One-thousand grain weight is an important production parameter, as it is possible to achieve higher yields with a same number of fertilized ovules due to the increase in grain reserves (Sponchiado et al., 2020). A1, A2, A3, and A4 presented increases in one-thousand grain weight as the N rates applied were increased, which can be connected to a higher increase in plant photosynthetic activity when using the highest N rates, resulting in a high accumulation of reserve in maize grains (Dourado Neto et al., 2004).

The N rates applied to the maize resulted in positive linear increases in number of grains per row in A1 and A4 (Figure 4). The increase of N topdressing rates resulted in increases in number of grains per row in A1 and A4.

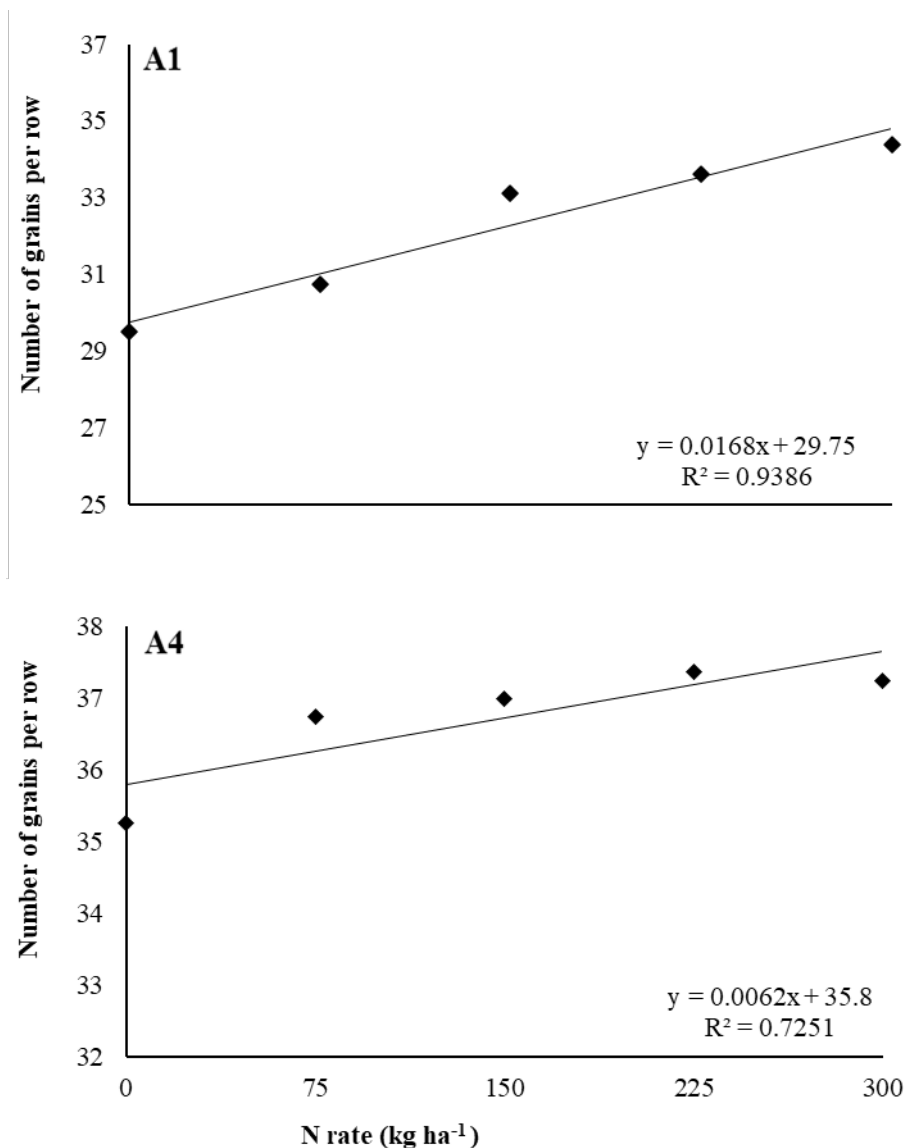


Figure 4. Number of grains per row in ears of second crop maize plants in areas (A1 and A4) in southwestern Goiás as a function of nitrogen rates applied as topdressing at the V3 stage.

An adequate application of N can result in decreases in abortion of grains, as this nutrient favors the production of photoassimilates, resulting in increases in number of grains per row (Magalhães et al., 2002; Qi; Hu; Liu, 2020). Maize grain yield is directly related to number of grains per row; thus, the increase in number of grains per row in A1 and A4 was directly related to their grain yield (Figure 4).

Topdressing had an isolate effect on grain yield in A1, A3, and A4 (Figure 5). A1 and A4 presented positive linear responses to the increases in N rates, with the highest estimated grain yield (6,476 kg ha⁻¹ in A1 and 6,700 kg ha⁻¹ in A4) found for the highest

N rate (300 kg ha^{-1}); whereas the yield results of A3 fitted to a second-degree equation, with the highest estimated grain yield ($3,761 \text{ kg ha}^{-1}$) found for the N rate of 174 kg ha^{-1} .

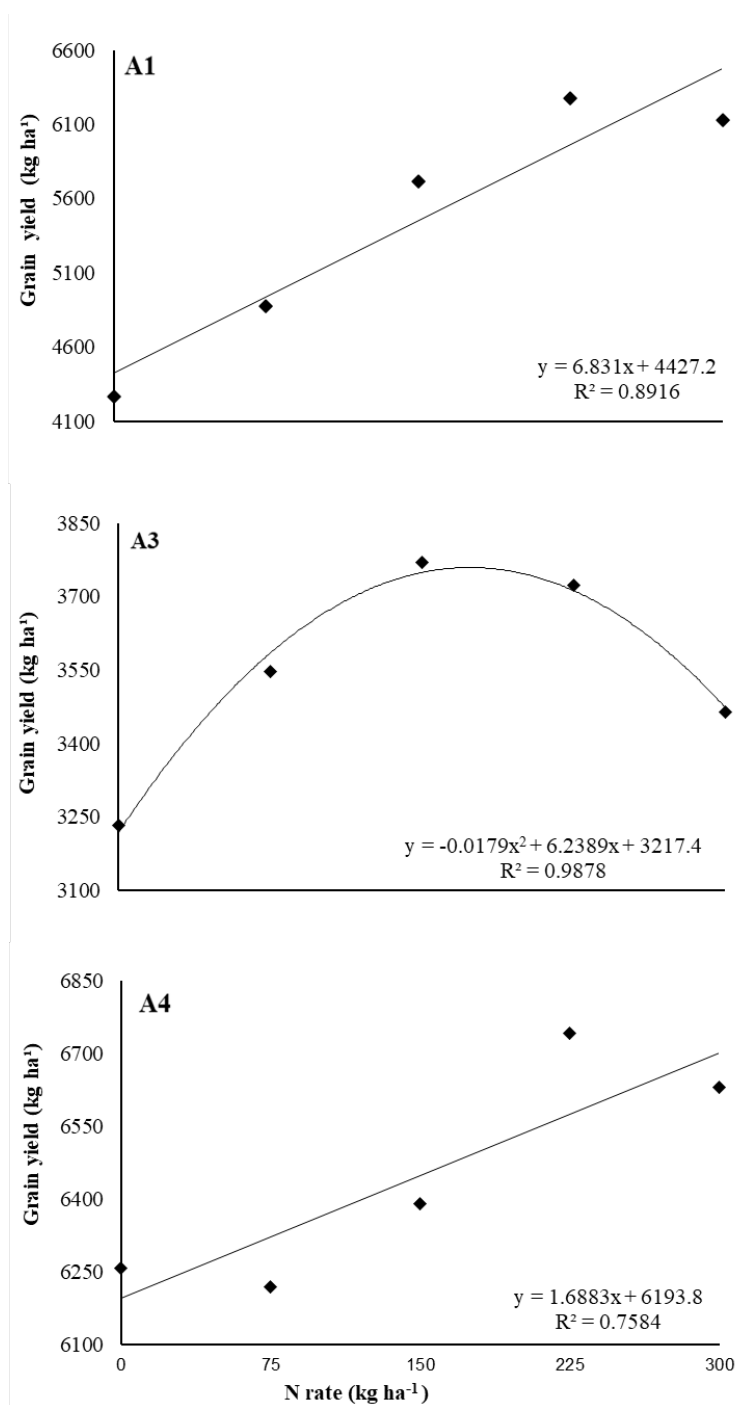


Figure 5. Grain yield of second crop maize plants in areas (A1, A3, and A4) in southwestern Goiás as a function of N topdressing rates at the V3 stage.

A1 and A4 were the same place, but in different crop seasons (A1 = 2019 and A4 = 2020); thus, the single difference between them was the accumulated rainfall depths during the crops. However, this factor little affects grain yield, which was stable, with a difference of 224 kg ha⁻¹ in the highest yields between these areas. The low highest grain yield found in the area A3 may be due to the lower organic matter and clay contents, which affect the soil cation exchange capacity and may result in low soil water retention capacity, and due the lower exchangeable base contents, mainly K and Ca (Table 2). Organic matter is related to soil buffering and sorption properties, which are connected to efficient use of nutrients, including N. High soil pH buffering capacities, characterized by high clay and organic matter contents, are connected to decreases in potential loss of N from urea as ammonia (Klimczyk; Siczek; Schimmelpfennig, 2021), which may explain the lower grain yield in A3.

The grain yield of the area A2 was significantly affected by the interaction between fertilizer application at planting and as topdressing (Table 3). When N was not applied at planting, the grain yield presented a linear response to N topdressing rates, with the highest estimated grain yield (6,546 kg ha⁻¹) found for the N rate of 300 kg ha⁻¹. When 30 kg ha⁻¹ of N was applied at planting, the response to topdressing was quadratic, with the highest estimated grain yield (6,754 kg ha⁻¹) found for the N rate of 142 kg ha⁻¹.

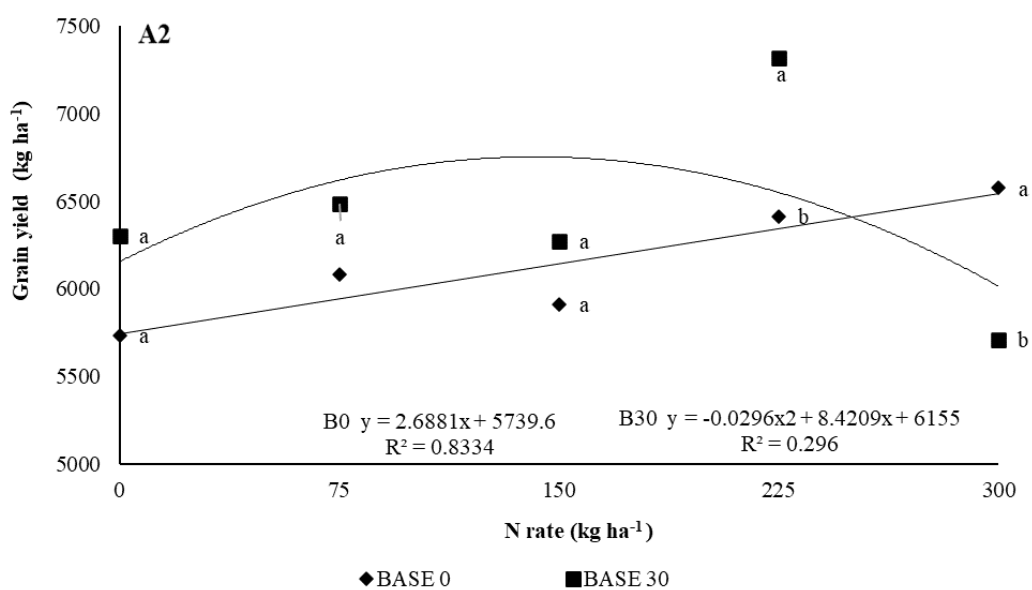


Figure 6. Grain yield of second crop maize crops in southwestern Goiás as a function of nitrogen rates applied at planting (0 or 30 kg ha⁻¹) and as topdressing at the V3 stage.

The highest yields achieved when using N rates of 0 and 30 kg ha⁻¹ at planting were similar. However, the results show that the application of 30 kg ha⁻¹ of N at planting resulted in the highest grain yield with an intermediate total N rate (142 kg ha⁻¹), and when not applying N at planting, the same result was only obtained when using the highest N rate (300 kg ha⁻¹).

In general, the N fertilizer application at planting was efficient in increasing the N use efficiency from topdressing, which confirms some results in the literature, which highlight that N fertilizer applications at planting result in acceleration of vegetative phenological stages of maize crops, resulting in high grain yields (De Resende, 2017). When maize is grown as a sole crop or intercropped with *Urochloa brizantha* or *Megathyrsus maximus*, N fertilizer application at planting is important to obtain higher number of ears per plant, number of grains per ear, one-thousand grain weight, dry weight, and grain yield (Crusciol et al., 2020).

However, these results were only found in A2, which raises the fact of how difficult it is to recommend precisely a N management for maize crops, as many processes and variables are involved in the response of these plants to N application.

CONCLUSIONS

Nitrogen (N) fertilizer application for second crop maize does not affect the number of rows of grains per ear, but increases the number of grains per row and, mainly, grain weight. N fertilizer application at planting can contribute to increase N use efficiency from topdressing N application. However, the highest yield was found when the plants presented no response to N fertilizer application, which denotes that several factors interact and determine the crop response to N fertilizer application.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptual idea: Albert, A.M.; Castoldi, G.; Cavalcante, T.J.; Methodology design: Albert, A.M.; Castoldi, G.; Cavalcante, T.J.; Data collection: Albert, A.M.; Cavalcante, T.J.; Nogueira, M.M.; Oliveira, A.F.; Data analysis and interpretation: Albert, A.M.; Castoldi, G.; Cavalcante, T.J.; Rodrigues, C.R.; Writing and editing: Albert, A.M.; Castoldi, G.; Cavalcante, T.J.; Nogueira, M.M.; Oliveira, A.F.; Rodrigues, C.R.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for granting a scholarship to the first author; and the Federal Institute Goiano for supporting this project.

REFERENCES

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS, acompanhamento – safra de grãos, 9(1):1-86, 2021.

AFSHAR, RK et al. Agronomic effects of urease and nitrification inhibitors on ammonia volatilization and nitrogen utilization in a dryland farming system: Field and laboratory investigation. *Journal of Cleaner Production*, 172:4130-4139, 2018.

AMADO, TJC et al. Yield and nutritional efficiency of corn in response to rates and splits of nitrogen fertilization. *Revista Ceres*, 64:351-359, 2017.

BENDER, RR et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105(1):161-170, 2013.

BERTHELOOT, J; MARTRE, P; ANDRIEU, B. Dynamics of light and nitrogen distribution during grain filling within wheat canopy. *Plant physiology*, 148(3):1707-1720, 2008.

CANTARELLA, H; DUARTE, AP. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. *Tecnologia de produção de milho*. 139-182, 2004.

CRUSCIOL, CA et al. Nitrogen-fertilized systems of maize intercropped with tropical grasses for enhanced yields and estimated land use and meat production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4: 544-853, 2020.

DAMIAN, JM et al. N, P or K doses on the dry matter and crude protein yield in maize and sorghum for silage. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47: 53-61, 2017.

DE RESENDE, AV. Adubação no sulco do milho garante melhor arranque. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2017.

DUARTE, AP; CANTARELLA, H; KAPPES, C Adubação de arranque no milho. *Revista Cultivar – Grandes Culturas*, 213:11-13, 2017.

DOURADO NETO, D et al. Efeito de boro e nitrogênio na cultura do milho. *Insula*, 1:51-67, 2004.

ELAZAB, A et al. Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. *European Journal of Agronomy*, 73:11-24, 2016.

FERREIRA, DF. Programa SISVAR.exe: Sistema de análise de variância. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010.

FORTINI, RM; BRAGA, MJ; FREITAS, CO. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58, 2020.

GABRIEL, JL et al. Alonsoayuso, M., Quemada, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. ***Biosystems engineering***, 160: 124-133, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa, 2022.

JANKOWSKI, K et al. Deep soils modify environmental consequences of increased nitrogen fertilizer use in intensifying Amazon agriculture. *Scientific reports*, 8(1): 1-11, 2018.

KLIMCZYK, M; SICZEK, A; SCHIMMELPFENNIG, L. Improving the efficiency of urea-based fertilization leading to reduction in ammonia emission. *Science of The Total Environment*, 145-483, 2021.

KOPPEN, W. *Grundriss der klimakunde*. Berlin: W. Guyter, 1931.

LI SX et al. Nutrient and water management effects on crop production, and nutrient and water use efficiency in dryland areas of China. *Advances in Agronomy*, 102:223–265, 2009.

LYRA, GB et al. Maize growth and yield under nitrogen levels in Coastal Plains of Alagoas, Brazil. *Revista Ceres*, 61: 578-586, 2014.

MAGALHÃES, PC et al. *Fisiologia do milho*. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, Circular Técnica, 22, p.23, 2002.

MARSCHNER, H; KIRKBY, EA; CAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of experimental botany*, 47:1255-1263, 1996.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: Fertilizer. *Better Crops*, 93(4):9-11, 2009.

PANDAY, D et al. Optimum rates of surface-applied coal char decreased soil ammonia volatilization loss. 49. 2. 2020.

PIRES, MV et al. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. *PloS one*, 10(8) 135:234, 2015.

RESENDE, AV et al. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. *Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, 28:19-29, 2018.

QI, DL; HU, TT; XUE, SONG. Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root-zone irrigation, *Journal of Integrative Agriculture*, 19(11): 2792-2806, 2020.

QI, D; HU, T; LIU, T. Biomass accumulation and distribution, yield formation and water use efficiency responses of maize (*Zea mays* L.) to nitrogen supply methods under partial root-zone irrigation. *Agricultural Water Management*, 230:105-981, 2020.

SHEN, Y et al. Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. *Field Crops Research*, 225:117-127, 2018.

SIMÃO, EDP et al. Nitrogen fertilization in off-season corn crop in different Brazilian Cerrado environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55, 2021.

SPONCHIADO, JC et al. Late nitrogen topdressing increases nutritional and industrial quality of white oat (*Avena sativa*) grain. *Australian Journal of Crop Science*, 14(9):1355-1361, 2020.

SUI, J et al. Effect of nitrogen and irrigation application on water movement and nitrogen transport for a wheat crop under drip irrigation in the North China Plain. *Water*, 7(11): 6651-6672, 2015.

VALDERRAMA, M et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41: 254-263, 2011.

VARVEL GE; SCHEPERS JS; FRANCIS DD. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci Soc Am J*, 61:1233-9, 1997.

VON PINHO, R.G et al. Marcha de absorção de sistema e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 8(02), 2009.

WANG, X; XING, Y. Effects of irrigation and nitrogen on maize growth and yield components. In: *Global Changes and Natural Disaster Management: Geo-information Technologies*. Springer, Cham, 2017.

HAWKESFORD, M et al. Functions of macronutrients. In: *Marchner, P.. Mineral Nutrition of higher plants*. 3rd ed. Academic Press Amsterdam, Netherlands, 135-189. 2012.

CAPÍTULO II

Uso de imagens aéreas multiespectrais na cultura do milho para predição do teor de nitrogênio

Resumo: O nitrogênio (N) é um dos elementos de elevada importância para a cultura do milho, e quantificação de forma rápida está se tornando cada vez mais importante. Com isso, objetivou-se neste estudo relacionar o teor de N das plantas de milho, em estágio V6, com os índices de vegetação obtidos por imagens multiespectrais acoplados em VANTs. Para tal, em 2019 foram realizados três experimentos em áreas da região Sudoeste do Estado de Goiás. Nestas áreas foram aplicadas diferentes doses de N na cultura do milho. O arranjo experimental foi em delineamento de blocos casualizados, sendo 5 doses de N em cobertura (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹) e 8 repetições para cada uma das áreas experimentais. Avaliou-se o teor de nitrogênio no estágio V6 da cultura e a obtenção de imagens aéreas multiespectrais embarcadas em um VANT. Os índices de vegetação se relacionaram positivamente com os teores de N no milho. Tendo como destaque o DI1 da A1 que obteve o maior R² (94,79%) em relação a todos os outros índices.

Palavras chaves: Veículo Aéreo não Tripulado, *Zea mays* L., Fertilizante nitrogenado.

Abstract: Nitrogen (N) is one of the elements of high importance for corn, and rapid quantification is becoming increasingly important. With that, the objective of this study was to relate the N content of corn plants, in V6 stage, with the vegetation indices obtained by multispectral images coupled in UAVs. To this end, in 2019, three experiments were carried out in areas of the Southwest region of the State of Goiás. In these areas, different

doses of N were applied to the corn crop. The experimental arrangement was in a randomized block design, with 5 doses of N in coverage (0, 75, 150, 225 and 300 kg ha⁻¹) and 8 replications for each of the experimental areas. The nitrogen content in the V6 stage of the culture and the acquisition of multispectral aerial images were evaluated in a UAV. Vegetation indices were positively related to N levels in maize. Highlighting the A1 DI1, which obtained the highest R² (94.79%) in relation to all other indexes.

Key words: Unmanned Aerial Vehicle, *Zea mays* L., Nitrogen fertilizer.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais produzido na região do Cerrado Brasileiro, com 80,92 % de sua produção acontecendo em segunda safra ou safrinha (Conab, 2022). Um dos aspectos mais importantes para se obter alta produtividade da cultura do milho é a disponibilidade adequada de nutrientes durante toda sua fase vegetativa e reprodutiva, particularmente do nitrogênio (N), sendo este o nutriente demandado em maior quantidade pelo milho (Von Pinho et al., 2009). Na matéria seca da planta, o N representa cerca de 2 a 4%, e é de grande importância devido ao fato de estar ligado a importantes componentes vegetais, como clorofilas e proteínas (Elazab et al., 2016; Gabriel et al., 2017).

Se por um lado o N pode ser o nutriente que alavanca a produtividade do milho, por outro contribui com a elevação do custo de produção da cultura (Mortate et al., 2018). Por este motivo é necessário que sejam recomendadas doses mais específicas de N para a cultura, visando a rentabilidade final da produção (Mumbach et al., 2017). A recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho obedece a alguns parâmetros, como o teor de matéria orgânica no solo, sucessão de culturas e histórico da lavoura. Os métodos de recomendação acabam sendo trabalhosos e demorados, exigindo a coleta de solo, tecido da planta e análise química. Estes procedimentos se transformam em informações limitadas no tempo, pois estamos analisando a safras anteriores e não em tempo real da safra que se encontra atual.

Com isso, existe uma necessidade de desenvolver métodos rápidos e eficientes para avaliar o N no milho (Araus et al., 2018). Ou seja, se conseguirmos estimar a real necessidade da nutrição nitrogenada na planta em estádios iniciais através de sensores, será possível realizar a adubação nas épocas iniciais da demanda de N pela planta.

Avanços recentes baseados em sensores para monitorar o status da planta apresentaram resultados positivos (Roitsch et al., 2019). O uso de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) embarcados com sensores multiespectrais tem auxiliado na determinação dos teores foliares (Peron-Danaher et al., 2021) e eficiência de uso do N no trigo (Yang et al., 2020) e arroz (Zheng et al., 2018). O índice de vegetação NDRE (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), por exemplo, se mostrou capaz em diferenciar o status de N em plantas de trigo (Argento et al., 2021). Embora possua uma

variedade de trabalhos para a identificação de N em outros cereais, para o milho ainda está sendo uma gama pequena de estudos desenvolvidos utilizando sensores multiespectrais e índices de vegetação.

Os sensores multiespectrais registram os valores de algumas bandas dentro da região visível e infravermelho (400 a 1.500 nm) e a partir destas assinaturas de refletância, geram os índices de vegetação que são correlacionados com estados da planta, tais como biomassa, absorção/acúmulo e concentração de N (Corti et al., 2017). O sucesso na identificação de índices de vegetação que se relacionam muito bem com o status de N em plantas de milho é certamente de grande importância e pode, sobretudo, balizar o desenvolvimento de algoritmos a serem utilizados no manejo de N para a cultura, podendo resultar em aumento da eficiência produtiva.

Os índices NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), DVI (Índice de Vegetação de Diferença) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) possuem nas suas equações as bandas NIR e Red. A banda do NIR (725 a 1.500 nm) captura alterações da refletância quando se ocorre mudanças estruturais na planta, sendo este um dos resultados de Quemada et al. (2014), que constataram maior diferenciação em curvas espectrais acima de 740nm, observado maior sensibilidade dessa onda na concentração de N foliar no milho. A banda do vermelho se encontra no espectro do visível, possuindo comprimento de onda entre 625 a 740 nm. Plantas saudáveis refletem pouca luz vermelha porque a clorofila absorve a luz neste comprimento de onda e possui alta refletância no comprimento do infravermelho (Horler et al., 1983). O índice DI1 (Índice de Diferença 1) é a variação das bandas estreitas do infravermelho (825 nm) e do verde (586 nm). A região do infravermelho está relacionada a estrutura do mesofilo foliar e a região do verde responde a concentração da clorofila (Campelo, 2018). A utilização destes diferentes tipos de bandas através de cálculos matemáticos, resultam em índices de vegetação que podem ser capazes de prever o status de N na planta em tempo real.

Conseguir identificar alterações no status de N na cultura do milho, ainda em estádios precoces, quando a adubação nitrogenada ainda é viável, é uma ótima ferramenta para o aumento da produtividade e eficiência de uso do N. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi relacionar o teor de N de plantas de milho, em estágio V6, com os índices de vegetação obtidos por imagens multiespectrais acoplados em VANTs.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado a partir de dados coletados, durante a segunda safra de 2019, em três áreas experimentais localizadas na região Sudoeste do estado de Goiás, precisamente nos municípios de Rio Verde e Jataí. Segundo a classificação climática internacional de Köppen, o clima da região é Aw, definido como tropical com inverno seco, com temperatura média anual de 22,9°C, precipitação média anual de 1.493 mm (Inmet, 2013).

As áreas experimentais foram nomeadas de A1 a A3: A1 no município de Jataí, na Fazenda Rio Verdinho 3 Barras; A2 e A3 no município de Rio Verde, na estação de pesquisa do Grupo Terra Forte.

Anterior às instalações dos experimentos, o solo foi amostrado para fins de caracterização de fertilidade básica e granulometria (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização de solo (camada de 0,0 - 0,2 m) das áreas experimentais.

	pH	P	K⁺	CA²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	M.O	SB
	CaCl²	- mg.dm⁻³ -	----- cmolc.dm⁻³ -----				----- g.dm⁻³ -----		cmolc
Área 1	5,35	7,92	0,22	2,16	0,58	0,02	1,63	40,40	2,96
Área 2	5,75	5,32	0,31	1,98	0,80	0,02	1,06	29,40	3,09
Área 3	5,45	2,26	0,11	0,99	0,59	0,03	1,06	28,20	1,69
	Areia	Silte	Argila	Classificação Textural					
Área 1	42,00	14,50	43,50	Argilosa					
Área 2	46,00	12,00	42,00	Argilosa					
Área 3	63,50	12,00	24,50	Franco Argilosa Arenosa					

Em cada uma das áreas, conduziu-se um ensaio em delineamento de blocos casualizados, comparando 5 doses de N em cobertura (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹) em 8 repetições. As doses de N foram definidas e aplicadas a fim de produzir variabilidade no status de N na cultura.

O híbrido utilizado em todos os ensaios foi o Dekalb DKB390, semeado mecanicamente, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e população esperada de 60.000 plantas ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas se encontravam no

estádio V3, de maneira manual e conforme previsto nos tratamentos. Utilizou-se como fonte de N a ureia (45% de N) tratada com inibidor de urease.

Por ocasião do estágio V6 foram amostradas folhas para realizar análise do teor de N. Para tal, coletou-se o terço médio das folhas que definem o estágio de desenvolvimento da planta, que em seguida foram levadas ao laboratório e secas em estufa de circulação contínua a 65°C, e posteriormente analisadas para determinação do nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (AOAC, 1995). No mesmo dia foram obtidas as imagens aéreas dos ensaios, utilizando um VANT, modelo DJI Inspire 2 (Shenzhen, China) equipado com uma câmera multiespectral modelo Sentera (Saint Paul, EUA).

Para realização da elaboração do plano de voo foi utilizado o aplicativo Field Agent, definido neste aplicativo uma altura de voo de 30m, sobreposição frontal e lateral de 80% e velocidade média de 10 m s⁻¹. Nas três áreas, o céu estava sem nuvens no momento dos voos, que foram realizados entre as 10h00 e 12h00, para evitar os efeitos de sombra gerados pelo sol.

Utilizou-se o software Pix4D para processamento do ortomosaico (união das ortofotos). Depois de processado, o ortomosaico foi importado para o software Qgis para realização dos cálculos dos índices de vegetação (Tabela 2) a partir do número digital dos pixels e utilizando a calculadora raster.

Tabela 2. Equação dos índices de vegetação calculados a partir de imagens obtidas com uma câmera multiespectral (Sentera, Saint Paul, EUA) embarcada em VANT.

Índice de Vegetação	Equação	Referência
Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)	$NDVI = (Nir - Red) / (Nir + Red)$	Lichtenthaler et al., 1996
Índice de Vegetação de Diferença (DVI)	$DVI = (Nir - Red)$	Tucker, 1979. Buschman
Índice de Diferença 1 (DI1 modificado)	$DI1_{modificado} = R 825 - R 586$	and Nagel, 1993.
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L = 0.5)$	Huete, A. R., 1988

Para cada parcela de amostragem foi criado uma camada vetorial de 5m por 3,5m para realizar a extração dos pixels correspondentes a cada índice de vegetação. A extração dos pixels foi realizada através da estatística por zona e depois da extração o arquivo vetorial .shp foi exportado como .Xlsx para posterior análise estatística.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p = 0,05$). Quando detectado efeito dos tratamentos, os resultados foram então avaliados por análise de regressão. O software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011) foi utilizado para as análises.

3. Resultado e Discussão

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis NDVI, DVI, DI1 e SAVI cultivados em segunda safra em 3 áreas do Sudoeste Goiano.

Variáveis	N Foliar	CV (%)	\bar{x}
Jatai – GO Safrinha 2019 (A1)			
NDVI	10,29**	7,04	0,29
DVI	11,59**	8,46	35,18
DI1	20,32**	-6,63	-67,31
SAVI	10,27**	1,16	1,79
Rio Verde – GO Safrinha 2019 (A2)			
NDVI	3,65**	7,15	0,33
DVI	4,24**	8,34	43,77
DI1	3,70**	-39,39	-17,52
SAVI	3,65**	7,16	0,49
Rio Verde – GO Safrinha 2019 (A3)			
NDVI	0,93ns	8,62	0,36
DVI	1,36ns	8,54	53,63
DI1	2,74*	-36,04	-24,02
SAVI	0,62ns	7,54	0,55

A análise da variância mostrou efeito significativo ($p \leq 0,05$) entre o teor de N e NDVI nas áreas 1 e 2. Foi possível obter os coeficientes de determinação por meio de análise de regressão, resultando em equações lineares nas duas áreas (Figura 1).

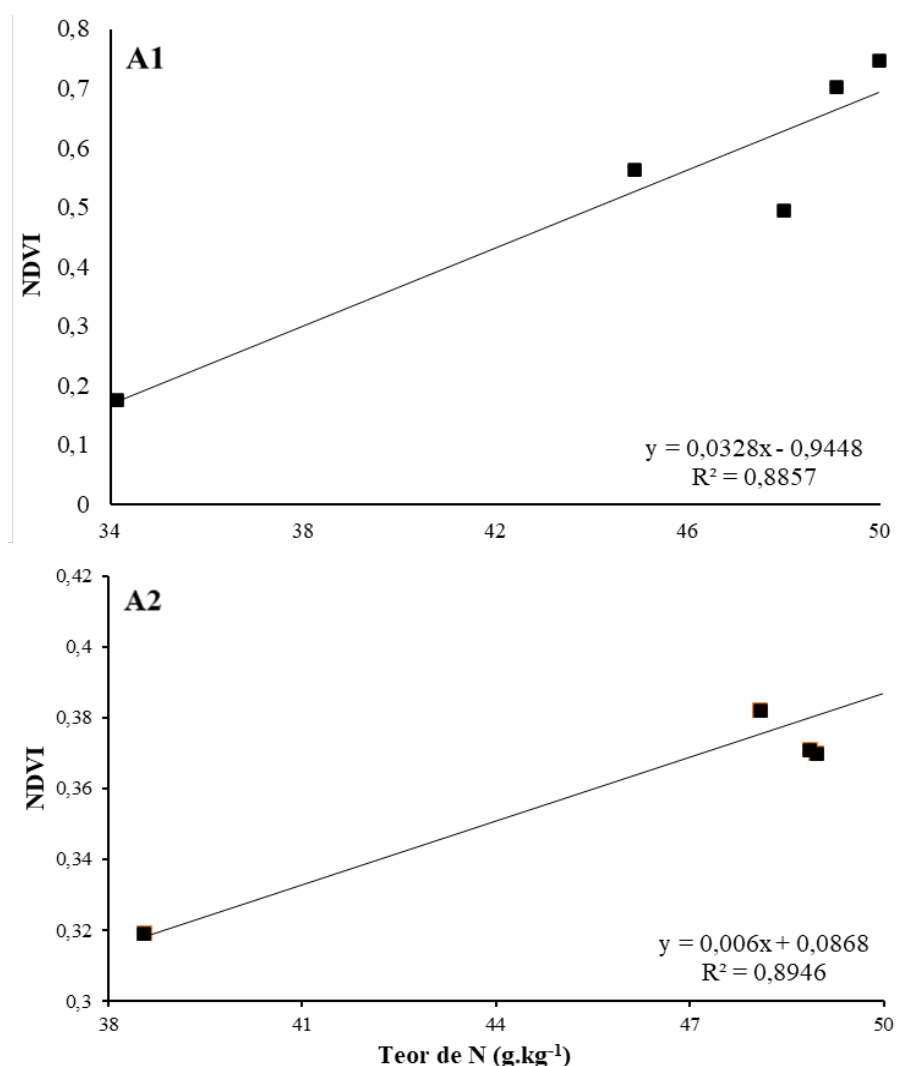


Figura 1. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.

O NDVI relaciona a diferença entre a energia refletida na parte do infravermelho próximo e a parte do vermelho do espectro visível. É muito utilizado para relacionar a biomassa fotossinteticamente ativa durante o crescimento das plantas (Raeva, Shedina e Dlesk, 2018). Os valores do NDVI variam entre -1 a 1, sendo -1 a 0 plantas mortas ou objetos inanimados, 0 a 0,33 planta doentia, 0,33 a 0,66 plantas moderadamente saudáveis e 0,66 a 1 plantas muito saudáveis (Rouse et al., 1974). Observa-se nas duas áreas quando as plantas se encontram com pouco teor de N na folha o valor do NDVI ficou mais

próximo de 0,2 a 0,3 e plantas com um elevado teor de N com consequência da elevada dose de adubação nitrogenada os valores do índice aumentaram, se relacionada com os parâmetros do NDVI.

O índice DVI apresentou ajuste a uma equação linear nas áreas 1 e 2 em resposta aos teores de nitrogênio em diferentes doses de N aplicadas em cobertura (Figura 2). O DVI demonstrou relação com o aumento do teor de nitrogênio, apresentando comportamentos semelhantes ao índice NDVI.

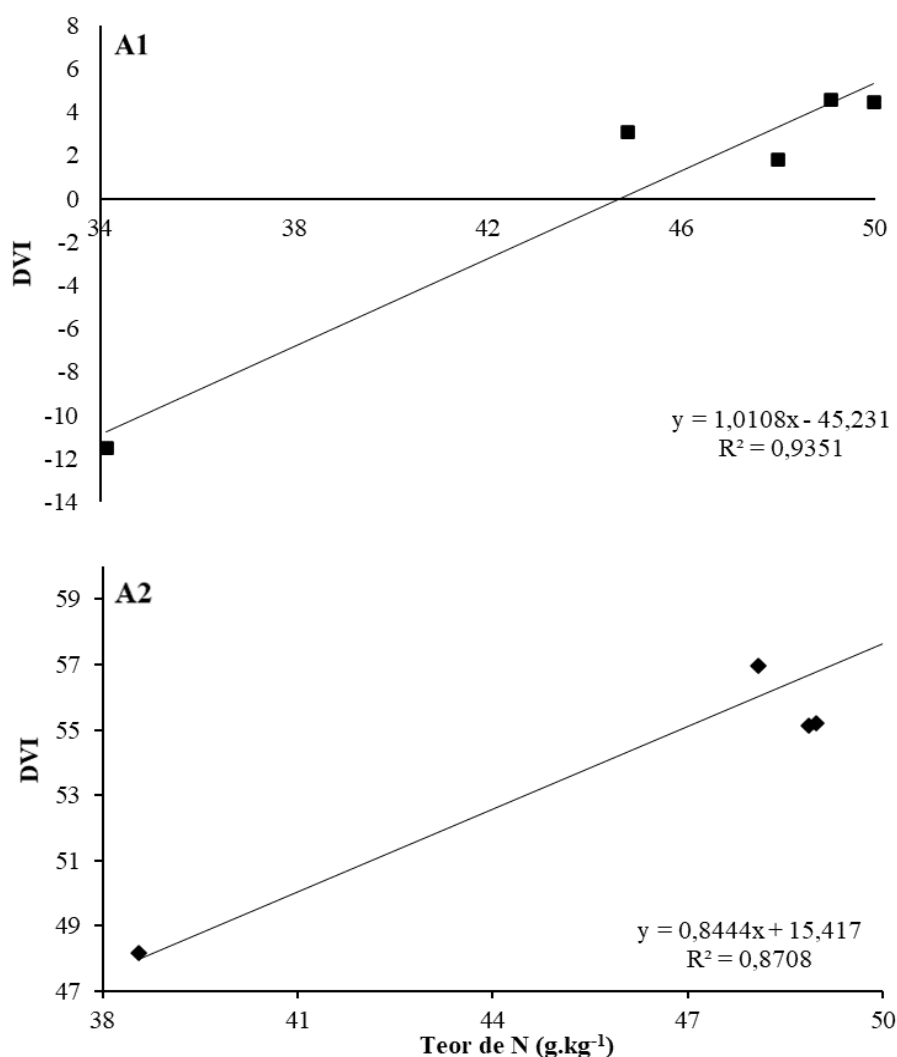


Figura 2. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Vegetação de Diferença (DVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.

O índice DI1 apresentou ajuste a uma equação linear negativa nas áreas 1,2 e 3 em resposta aos teores de nitrogênio na folha (Figura 3). Nota-se que os valores próximos a 0 correspondem a maiores teores de N na planta, e que a A1 foi a que possuiu maior ajuste em relação às outras áreas.

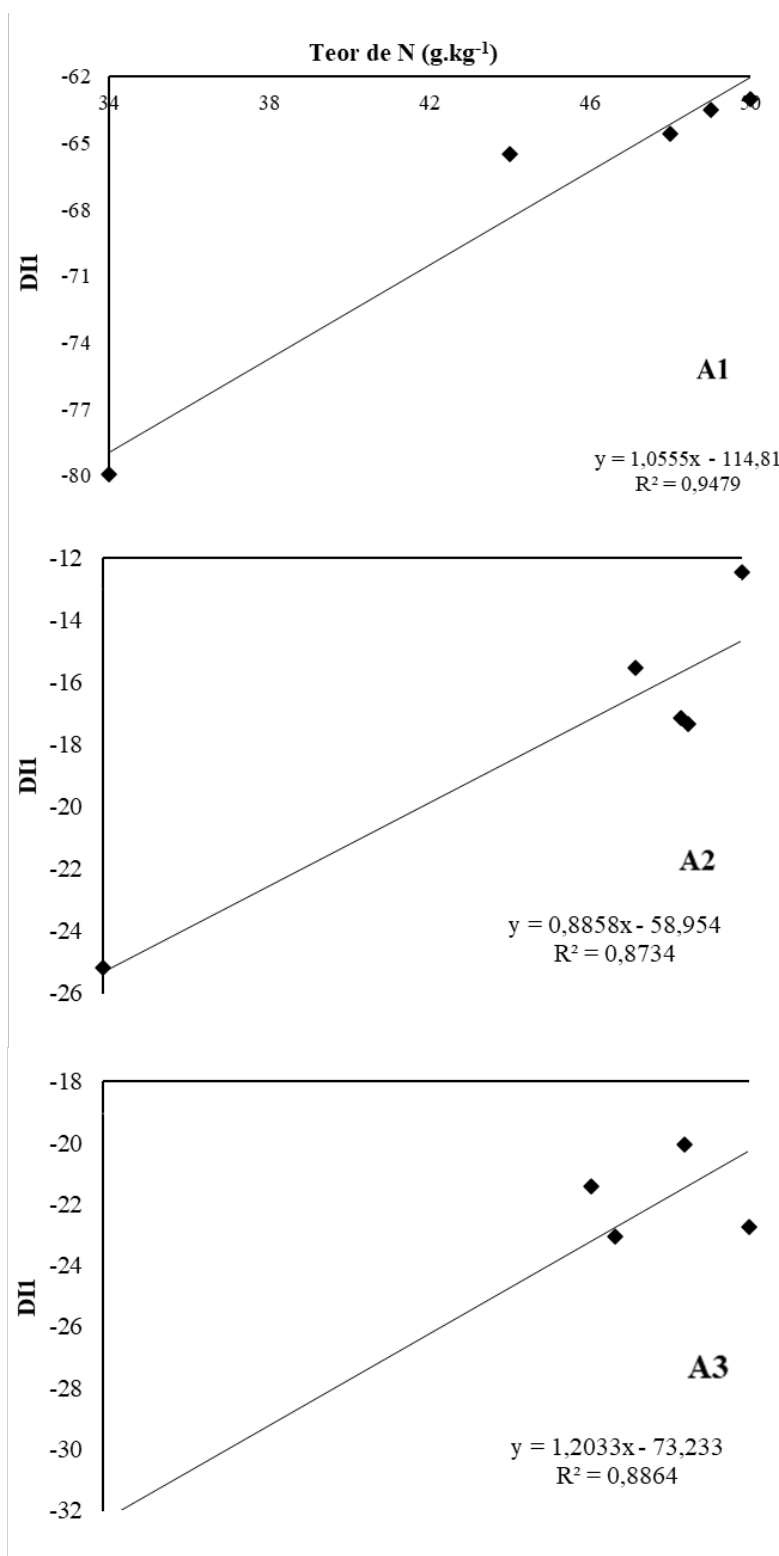


Figura 3. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores de Índice de Diferença 1 (DI1) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1, 2 e 3.

Em estudos realizados por Buschmann and Nagel (1993), os autores demonstram que houve melhor correlação com o teor de clorofila por área foliar no comprimento de onda de 550 nm e 800 nm. O DI1 possui variações das bandas do infravermelho (825 nm) e do verde (586 nm). O infravermelho (800 a 1300 nm) é relacionado a estrutura do mesófilo foliar, este que é responsável pela fotossíntese das plantas.

A região do verde (450 a 750 nm) no espectro visível, é responsável por captar a luz e garantir a fotossíntese das plantas (Dechant, 2017). Situações de estresse hídrico e nutricional, resultam na degradação dos pigmentos que conseqüentemente faz com que tenha o aumento da reflectancia da região do verde (Daughtry et al., 2000)

Houve efeito significativo apenas nas áreas 1 e 2 no índice SAVI, sendo que a área 1 foi a que possui um maior R^2 (0,93). Verifica-se que os valores de SAVI encontrados neste estudo estão dentro dos parâmetros, estes que variam de 0 a 0,8 (Huete, 1988).

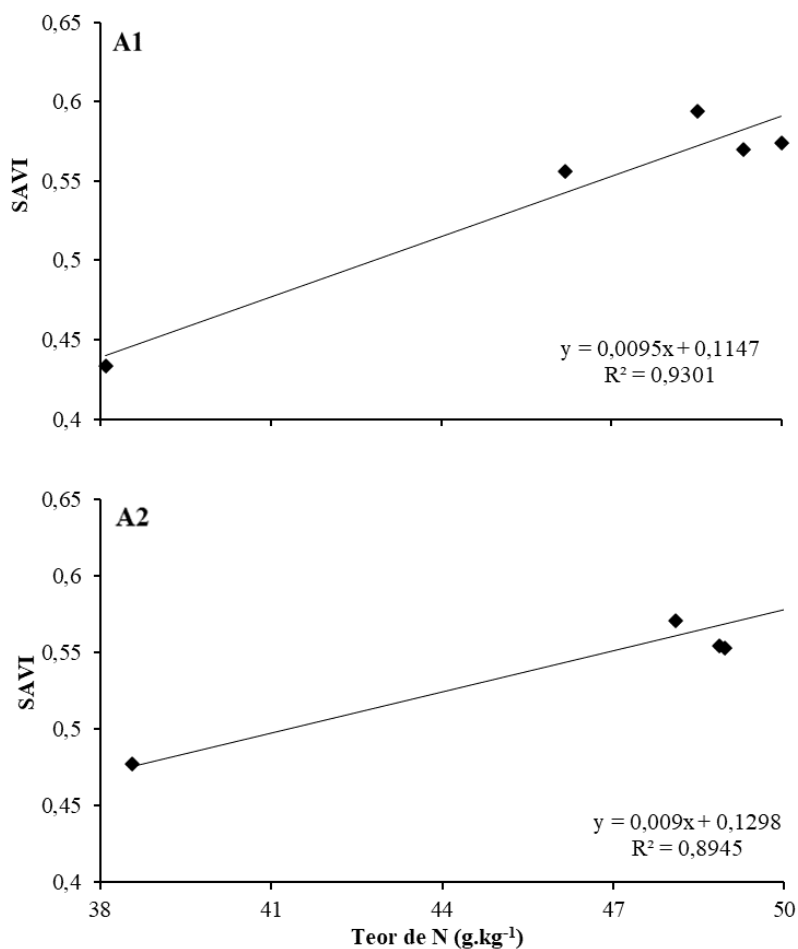


Figura 4. Relação entre o teor de nitrogênio (N) da última folha completamente desenvolvida de milho em estágio V6 e os valores do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) obtidos a partir de imagens aéreas capturadas com sensor multiespectral Sentera embarcado em um drone de modelo DJI Inspire 2 nas áreas 1 e 2.

Observou-se que todos os índices NDVI, DVI e SAVI possuem comportamentos semelhantes em relação ao aumento do teor de nitrogênio na folha. A explicação é porque todos estes índices possuem em suas equações as bandas NIR e Red. Estas bandas (vermelho e infravermelho próximo) são afetados por dois importantes pigmentos componentes da vegetação (especificamente clorofila) e estrutura foliar. Plantas saudáveis refletem pouca luz vermelha porque a clorofila absorve a luz nesse comprimento de onda, e plantas saudáveis têm alta reflectância no infravermelho próximo porque a estrutura de folha saudável reflete fortemente os comprimentos de onda do infravermelho próximo (Campelo, 2018).

A correlação positiva entre o teor de nitrogênio com os índices de vegetação aqui estudados, revela que maiores valores desses índices são indicativos de maiores rendimentos. Este é um resultado interessante, pois enfatiza que é possível relacionar o teor de nitrogênio na planta de milho com base no sensoriamento remoto, conforme é relatado em outros estudos (Zaman-Allah et al., 2015; Raeva, Shedina e Dlesk, 2018; Hoss et al., 2020).

4. Conclusão

O teor de N no estágio fenológico V6 da cultura do milho respondeu positivamente aos índices de vegetação NDVI, DVI, DI1 e SAVI.

Os índices que apresentam em suas equações a região do NIR e do Red são muito apurados para realizar a predição do teor de N. A banda do verde demonstra também elevada interação com o teor de N quando este foi calculado junto ao NIR.

O DI1 foi o índice com maior efeito significativo comparado com os outros índices, demonstrando ser eficiente na estimativa do teor de N em plantas de milho em estágio V6.

Referência Bibliográfica

Araus, J. L., Kefauver, S. C., Zaman-Allah, M., Olsen, M. S., & Cairns, J. E. Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. **Trends in plant science**, v. 23, n. 5, p. 451-466, 2018.

Argento, F., Anken, T., Abt, F., Vogelsanger, E., Walter, A., & Liebisch, F. Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 2, p. 364-386, 2021.

Association of official analytical chemists - AOAC. Official methods of analysis. 16 ed. Arlington: AOAC, v. 1. 1995.

Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., ... & Lascano, R. J. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In: **Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA. 2000.**

Buschman, C., & Nagel, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as a basis for remote sensing of vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, 14, p.711–722, 1993.

Campelo, D. H. **Uso do sensoriamento 44istem para diagnóstico nutricional na cultura do milho irrigado.** 2018. 195f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.

Ceretta, C. A.; Basso, C. J.; Flecha, A. M. T.; Pavinato, P. S.; Vieira, F. C. B.; Mai, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no 44istema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/221, n.3, terceiro levantamento, dezembro. 2021.

Corti, M., Gallina, P.M, Cavalli, D., & Cabassi, G. Hyperspectral imaging of spinach canopy under combined water and nitrogen stress to estimate biomass, water, and nitrogen content. **Biosystems engineering**, v. 158, p. 38-50, 2017.

Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., De Colstoun, E. B., McMurtrey, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.

Dechant, B., Cuntz, M., Vohland, M., Schulz, E., & Doktor, D. Estimation of photosynthesis traits from leaf reflectance spectra: Correlation to nitrogen content as the dominant mechanism. **Remote Sensing of Environment**, v. 196, p. 279-292, 2017.

Elazab, A., Ordóñez, R. A., Savin, R., Slafer, G. A., Araus, J. L. Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. **European Journal of Agronomy**, v. 73, p. 11-24, 2016.

Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonsoayuso, M., Quemada, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. **Biosystems engineering**, v. 160, p. 124- 133, 2017.

Guo, B.B.; Zhu, Y.J.; Feng, W.; He, L.; Wu, Y.P.; Zhou, Y.; Ma, Y. Remotely estimating aerial N uptake in winter wheat using red-edge area index from multiangular hyperspectral data. **Frontiers in plant Science**. 9: p.675, 2018.

Horler, D.N.H., Dockray, M.O., Barber, J. The Red Edge of plant leaf reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 4, n. 2, pág. 273-288, 1983.

HOSS, Douglas Felipe et al. Multispectral aerial images for the evaluation of maize crops. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020.

Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, Vol 25, 295–309, 1988.

Lichtenthaler H. K., Lang M., Sowinska M., Heisel F., Miehé J. A. Detection of vegetation stress via a new high resolution fluorescence imaging system. **Journal of Plant Physiology**, vol. 148, no. 5, pp. 599–612, 1996.

Mortate, R. K.; Nascimento, E. F.; Gonçalves, E. G. S.; Lima, M. W. P. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2018. ISSN 2358-6303.

Mumbach, G. L., Kotowski, I. E., Schneider, F. J. A., Mallmann, M. S., Bonfada, E. B., Portela, V. O., ... & Kaiser, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, 18.2: p. 97-103, 2017.

Penuelas, J., Filella, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in plant science**, v. 3, n. 4, p. 151-156, 1998.

Peron-Danaher, R., Russell, B., Cotrozzi, L., Mohammadi, M., & Couture, J.J. Incorporating Multi-Scale, Spectrally Detected Nitrogen Concentrations into Assessing Nitrogen Use Efficiency for Winter Wheat Breeding Populations. **Remote Sensing**, v. 13, n. 19, p. 3991, 2021.

Quemada, M., Gabriel, J. L., & Zarco-Tejada, P. Airborne hyperspectral images and ground-level optical sensors as assessment tools for maize nitrogen fertilization. **Remote sensing**, v. 6, n. 4, p. 2940-2962, 2014.

Roitsch, T., Cabrera-Bosquet, L., Fournier, A., Ghamkhar, K., Jiménez-Berni, J., Pinto, F., & Ober, E. S. New sensors and data-driven approaches—A path to next generation phenomics. **Plant Science**, v. 282, p. 2-10, 2019.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W.; & Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Greenbelt, USA:NASA/GSFC, Type III, Final Report**. (pp. 1e371),1974.

Tucker, C. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, **Remote Sensing of Environment**, 8: p.127-150, 1979.

Yang, M., Hassan, M. A., Xu, K., Zheng, C., Rasheed, A., Zhang, Y., ... & He, Z. Assessment of water and nitrogen use efficiencies through UAV-based multispectral phenotyping in winter wheat. **Frontiers in Plant Science**, p. 927, 2020.

Zaman-Allah, M., Vergara, O., Araus, J. L., Tarekegne, A., Magorokosho, C., Zarco-Tejada, P. J., ... & Cairns, J. (2015). Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. **Plant methods**. V. 11, n. 1, p. 1-10, 2015.

Zheng, H., Cheng, T., Li, D., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., & Zhu, Y. Combining unmanned aerial vehicle (UAV)-based multispectral imagery and ground-based hyperspectral data for plant nitrogen concentration estimation in rice. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 936, 2018.

CONCLUSÃO GERAL

A adubação nitrogenada não interfere no número de fileiras de grãos por espiga. Por outro lado, afeta positivamente o número de grãos por fileira e, principalmente, o peso de grãos.

Em 4 dos 5 ensaios, a cultura respondeu positivamente ao incremento da dose total de N, com as maiores produtividades ocorrendo com doses totais variando entre 174 a 300 kg ha⁻¹ N.

No ensaio na área 2, a adubação de base contribuiu para a eficiência da adubação de cobertura, de modo que a produtividade do milho foi maior e atingida com uma dose total de N menor. Com isso, a aplicação de N na semeadura auxilia no desenvolvimento da cultura em estágios iniciais.

A maior produtividade média de grãos de milho (8.233 kg ha⁻¹) ocorreu justamente no ensaio com ausência de resposta à adubação nitrogenada. Isso se deve por conta que a área 5, é uma área de elevada fertilidade, com maior M.O em relação às outras áreas de estudo, ocasionando um ambiente ideal para a planta.

O teor de N no estágio fenológico V6 da cultura do milho respondeu positivamente aos índices de vegetação NDVI, DVI, DI1 e SAVI.

Os índices que apresentam em suas equações a região do NIR e do Red são muito apurados para realizar a predição do teor de N. A banda do verde demonstra também elevada interação com o teor de N quando este foi calculado junto ao NIR.

O DI1 foi o índice com maior efeito significativo comparado com os outros índices, demonstrando ser eficiente na estimativa do teor de N em plantas de milho em estágio V6.

Para A1 e A3 o índice que obteve maior R² (94,79 % e 88,64%) foi o DI1, e já para a área 2 os índice NDVI (89,46 %) e SAVI (89,45) possuíram R² bem próximos.