

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALESSANDRA FERREIRA CORTES

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NA CULTURA
DO MILHO CONSORCIADO COM FORRAGEIRAS**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALESSANDRA FERREIRA CORTES

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NA CULTURA
DO MILHO CONSORCIADO COM FORRAGEIRAS**

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Coorientador: Prof. Dr. Everton da Silva Neiro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Alessandra Ferreira Cortes

ORIENTADOR: Dr. Cassiano Garcia Roque

TÍTULO: Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho consorciado com forrageiras

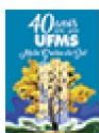
AVALIADORES:

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto

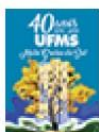
Chapadão do Sul, 24 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 24/02/2023, às 15:58, 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](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 24/02/2023, às 16:03, 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](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Ferreira Barreto, Professor do Magisterio Superior**, em 24/02/2023, às 16:06, 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](#).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, e pela oportunidade que me deu em realizar um curso de pós-graduação.

A Deus pela minha família que apesar da distância está sempre presente e torcendo por mim. Em especial a meu pai Claudio de Souza Cortes e minha mãe Lozeni Ines Ferreira Cortes, por serem minha fonte de admiração e respeito, meu suporte emocional, e por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos.

A meu amado filho Teodoro Cortes Silva pelos abraços, sorrisos e palavras de carinho. De onde vem toda a minha força para enfrentar as dificuldades, e seguir sempre em frente.

Ao pai do meu filho Robert Martins da Silva por sempre me ajudar, apoiar e incentivar.

A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS pela oportunidade em realizar o mestrado e conduzir experimento no campo experimental da universidade, no campus de Chapadão do Sul, MS.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido o qual possibilitou a realização do mestrado.

A meu orientador Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque pela paciência para que teve comigo, pelo incentivo, por todo ensinamento, sabedoria e conhecimento compartilhado sempre com muita atenção e carinho.

A meu coorientador Prof. Dr. Everton da Silva Neiro

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro pela paciência e ensinamentos. E ao Prof. Dr. Fabio Rojo Baio pela realização dos sobrevoos na área experimental, fornecimento de dados e sugestões na dissertação.

A Dthenifer Cordeiro Santana por sempre estar disposta a me ajudar em todas as vezes que precisei e por me incentivar.

A todas as pessoas que sempre me incentivaram, em especial Eloá, Amanda e Ester.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo na área experimental anterior à instalação do experimento nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40m respectivamente.	14
Tabela 2. Equações e referências dos índices de vegetação (IVs) utilizados.....	15
Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PRO), índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI), avaliados em todos os consórcios (C) e doses de nitrogênio (N) em cobertura, na área sem fosfito na safra 2021/2022.	17
Tabela 4. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos índices de vegetação NDVI, NDRE, SAVI e EVI em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras na safra 2021/2022.	18
Tabela 5. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos consórcios para produtividade de grãos (PROD t ha ⁻¹) em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras, em área sem fosfito na safra 2021/2022.	22
Tabela 6. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PRO), índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em todos os consórcios (C) e doses de nitrogênio (N) em cobertura, na área com fosfito na safra 2021/2022.	23
Tabela 7. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos consórcios para produtividade de grãos (PROD, t ha ⁻¹) em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras, em área com fosfito na safra 2021/2022.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluvial e médias das temperaturas máxima, média e mínima durante a condução do experimento.....	13
Figura 2. Índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MS); milho + <i>U. ruziziensis</i> + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MRS); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.	19
Figura 3. Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (NDRE) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MS); milho + <i>U. ruziziensis</i> + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MRS); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.	20
Figura 4. Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MS); milho + <i>U. ruziziensis</i> + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MRS); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.	20
Figura 5. Índice de vegetação melhorada (EVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MS); milho + <i>U. ruziziensis</i> + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MRS); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.....	21
Figura 6. Altura da planta (A), altura de inserção da espiga (B) e número de grãos por espiga (C) para a cultura do milho manejada com doses de N.....	22
Figura 7. Produtividade de grãos (PROD) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MS); milho + <i>U. ruziziensis</i> + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MRS); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã + <i>Stylosanthes</i> cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.....	23
Figura 8. Altura da planta (A), altura de inserção da espiga (B), diâmetro do colmo (C) e número de grãos por espiga (D) para a cultura do milho manejada com doses de N.	26
Figura 9. Produtividade de grãos (PROD) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + <i>U. ruziziensis</i> (MR); milho + <i>U. brizantha</i> cv. Piatã (MP); milho + <i>Stylosanthes</i> cv.	

campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura..... 27

RESUMO

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO CONSORCIADO COM FORRAGEIRAS

O consórcio de milho com espécies forrageiras tem sido amplamente utilizado, almejando alta produtividade de grãos da cultura e maior acúmulo de palhada na superfície do solo. O objetivo foi avaliar os componentes morfológicos e produtividade de grãos da cultura do milho, em cultivo consorciado com forrageiras sob doses de nitrogênio (N) e identificar o efeito dos índices de vegetação (IVs) nas plantas, em duas áreas: uma sem aplicação de fosfite (Phi) e outra com Phi. Foram realizados dois experimentos (experimento 1: sem Phi, experimento 2: com Phi) no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul na Safra de 2021/2022. Cada experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial. O primeiro fator foi composto por seis consórcios de milho com forrageiras: milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MR); milho + *Urochloa brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *Urochloa brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e milho + *Urochloa ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS). O segundo fator foi composto por quatro doses de N (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹). No estágio V6 (período vegetativo) foram avaliados os seguintes índices de vegetação: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Diferença Normalizada Rededge (NDRE), Índice de vegetação ajustado ao Solo (SAVI) e índice de vegetação aumentada (EVI). No estágio R5 (grão úmido) foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos. As modalidades de consórcios M e MS expressam maior produtividade de grãos com aplicação da dose máxima de N, os componentes morfológicos indicam influência positiva com aumento de doses de N até 160 kg ha⁻¹, e os componentes de rendimento até 240 kg ha⁻¹, os índices de vegetação NDVI, NDRE, SAVI e EVI fornecem máxima refletância do dossel vegetal para M e MS.

Palavras-chave: *Zea mays* L. *Urochloa*. *Stylosanthes*. Nitrogênio. Índices de vegetação.

ABSTRACT

NITROGEN FERTILIZATION IN COVERAGE IN CORN CROP INTERCROPPED WITH FORAGE

The intercropping of maize with forage species has been widely used, aiming at high grain production of the crop and greater accumulation of straw on the soil surface. The objective was to evaluate the morphological components and grain yield of the corn crop, intercropped with forages under doses of nitrogen (N) and to identify the effect of vegetation indices (VIs) under the plants, in two areas: one without application of phosphite (Phi) and another with Phi. Two experiments were carried out (experiment 1: without Phi, experiment 2: with Phi) in the experimental field of the Federal University of Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul campus in the 2021/2022 Harvest. Each experiment was conducted in a randomized block design with four replications in a factorial scheme. The first factor was composed of six intercrops of maize with forages: single maize (M); maize + *Urochloa ruziziensis* (MR); maize + *Urochloa brizantha* cv. Piatã (MP); maize + *Stylosanthes* cv. large field (MS); maize + *Urochloa brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. large field (MPS) and maize + *Urochloa ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. large field (MRS). The second factor was composed of four doses of N (0, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹). In the V6 stage (vegetative period) the following vegetation indices were evaluated: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Red Edge Normalized Difference Index (NDRE), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Increased Vegetation Index (EVI). At stage R5 (wet grain) the following variables were evaluated: plant height, ear insertion height, stem diameter, number of rows per ear, number of grains per ear and grain productivity. The M and MS consortium modalities express higher grain productivity with the application of the maximum dose of N, the morphological components indicate a positive influence with the increase of N doses up to 160 kg ha⁻¹, and the yield components up to 240 kg ha⁻¹, the NDVI, NDRE, SAVI and EVI vegetation indices provide maximum canopy reflectance for M and MS.

Keywords: *Zea mays* L. *Urochloa*. *Stylosanthes*. Nitrogen. Vegetation indices.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	13
Local de condução do experimento.....	13
Condução e delineamento experimental	14
Manejo fitossanitário.....	15
Aquisição de dados espectrais.....	15
Avaliações agronômicas.....	16
Análises estatísticas.....	16
RESULTADOS	17
Sem fosfito	17
Com fosfito.....	23
DISCUSSÃO.....	27
CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS	33

INTRODUÇÃO

A constante busca pelo aumento da produção de alimentos e da produtividade das culturas tem levado ao uso de técnicas de cultivo que potencializem a produção, a fim de obter maior diversidade na utilização de seus grãos para a alimentação humana e animal (OKUMURA et al., 2011). O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de grande importância econômica, amplamente cultivada no mundo, devido sua adaptação a diferentes ecossistemas, desenvolvimento de variedades e híbridos de alta produção e respostas eficientes na adubação. A produção mundial ultrapassa 1 bilhão de toneladas ao ano, com destaque aos países Estados Unidos, China e Brasil, que juntos representam 64,6% dessa produção (USDA, 2022).

A consorciação de milho com espécies forrageiras tem sido amplamente utilizada, almejando alta produção de grãos da cultura e acúmulo de palhada na superfície do solo, gerando benefícios no solo e nas plantas cultivadas, otimizando a área de produção. No consorcio de duas gramíneas, a forrageira fornece alimento para exploração da pecuária após a colheita da cultura produtora de grãos, esse sistema pode ser uma alternativa viável em muitas regiões do país. Quando essa estratégia é adotada, além do nitrogênio (N) mineral fornecido, a introdução de espécies de cobertura vegetal com menor relação carbono/nitrogênio (C/N) são alternativas que podem aumentar a disponibilidade de N no solo (KAPPES et al., 2013a).

De modo geral, as poáceas devido a alta relação C/N, e alto teor de lignina contribuem com maior nível de matéria orgânica no solo, porém podem apresentar baixa disponibilidade de N. As fabáceas dispõe de maior teor de N para as plantas, tornando o consórcio entre essas espécies uma alternativa viável, com habilidades que resultam em fitomassa com relação C/N intermediária (KAPPES et al., 2013a).

O N é essencial na biossíntese de enzimas e proteínas vitais para as plantas, além de importante função na molécula de clorofila que auxilia no processo de fotossíntese (ANDRADE et al., 2003). Esse nutriente é absorvido em maior quantidade pela cultura do milho, tornando a suplementação fundamental para a planta completar seu ciclo. Deste modo, conhecer a dinâmica do N no sistema solo-planta são informações importantes, considerando as formas de manejo, características do solo, tipo de fertilizante, espécies forrageiras consorciadas e condições edafoclimáticas (SANTOS et al., 2010).

Assim como o N, o fósforo (P) é indispensável para alcançar altas produtividades na cultura do milho. Auxiliando também no crescimento do sistema radicular das gramíneas, assim como no perfilhamento, fundamental para a persistência das forrageiras, no entanto, em solos tropicais a disponibilidade é inferior a 0,1% (SANTOS et al., 2006; FINK et al., 2016).

Altas doses de P são necessárias devido a baixa absorção e baixo teor no solo, resultando em quantidades limitadas disponíveis para atender a demanda das plantas (PEIRCE et al., 2014; EICHERT; FERNÁNDEZ, 2023; VINAS et al., 2020). Nesse sentido, pesquisas tem focado na melhor eficiência desse nutriente, e uso de novas alternativas como os fosfitos (Phi), com objetivo de otimizar a aplicação de fertilizantes fosfatados (ROBERTS; JOHNSTON 2015; HEUER et al., 2017). Os Phi (H_2PO_3^-) são conhecidos como uma forma reduzida do P inorgânico (Pi) (H_2PO_4^-), a diferença entre eles está basicamente ligada a um átomo de oxigênio que é substituído por um de hidrogênio (VINAS et al., 2020).

É importante destacar que as plantas não conseguem metabolizar Phi, limitando seu uso como fertilizante, porém é uma fonte ideal de P devido a sua baixa solubilidade e reatividade com os componentes do solo, no entanto, o uso dos Phi como fonte de adubação fosfatada pode ocorrer somente se houver contato com microorganismos capazes de oxidá-los em Pi (MANNA et al., 2016). Essa oxidação torna possível a utilização dos Phi como fonte de adubação complementar, porém mais pesquisas devem ser realizadas avaliando a eficácia dos Phi na agricultura (MORALES-MORALES et al., 2022).

A aplicação excessiva de fertilizantes pode comprometer o sucesso da produção agrícola além de impactar negativamente as águas subterrâneas e superficiais (DHAKAL; LANGE, 2021). Nesse sentido as informações de sensoriamento remoto, através do emprego dos índices de vegetação (IVs), são ferramentas fundamentais para o monitoramento ambiental e aplicações na agricultura. Estimativas de desenvolvimento e rendimento para a cultura do milho são previsões importantes para tomar decisões quanto ao uso de fertilizantes e prever respostas economicas aos produtores (VENANCIO et al., 2020). Identificar e corrigir áreas com retrições de ganho produtivo na lavoura potencializa a eficiência da cultura e através dos IVs é possível estimar teores de N pela refletância foliar, se tornando importante no diagnóstico de deficiência nutricional (FARRELL et al., 2018).

A hipótese dessa pesquisa foi que doses de N fornecidas em cobertura afetam o desempenho agrônômico da cultura do milho. Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a produtividade de milho em cultivo consorciado com braquiárias (*Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha*, cv. Piatã) e *Stylosanthes* cv. campo grande, identificar as características agrônômicas e índices de vegetação. Sob influência da presença e ausência de Phi.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução do experimento

Foram conduzidos dois experimentos no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul - MS, ($18^{\circ}46'13,4''$ S e $52^{\circ}37'19,8''$ W e altitude média de 819 m), na safra de 2021/2022. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação, temperatura média e umidade relativa média de 1.850 mm; $24,1^{\circ}\text{C}$ e 64,8%, respectivamente. Os dados climáticos, referentes as médias de temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação pluviométrica coletados na área experimental durante a realização da pesquisa estão apresentados na Figura 1. Durante o experimento a precipitação total acumulada foi de 1385,5 mm. Ocorrendo boa distribuição hídrica, atendendo a demanda da cultura que varia de 400 a 700 mm em seu ciclo completo (ANDRADE, 2006).

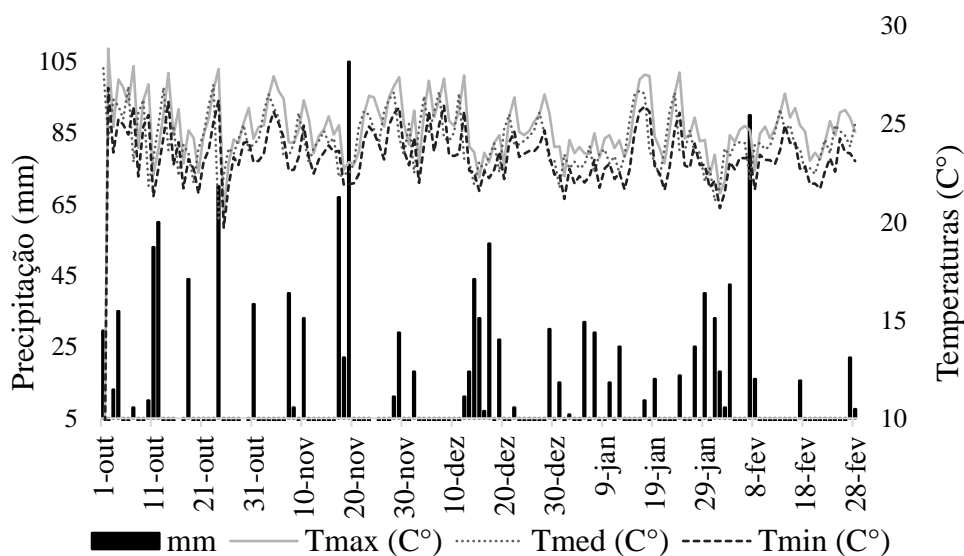


Figura 1. Precipitação pluvial e médias das temperaturas máxima, média e mínima durante a condução do experimento.

O solo na região, baseado no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2018), foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. Previamente à instalação do experimento para caracterização da área experimental foi realizada amostragem de solo nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade (Tabela 1). A recomendação de adubação e calagem foi realizada com base na análise de solo através do cálculo, e necessidade de calagem para a semeadura do milho.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo na área experimental anterior à instalação do experimento nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40m respectivamente.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	(t)	T	V	m	Argila	Silte	Areia	M.O.
CaCl ₂	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----				----- % -----				
4,9	13,2	67	2,9	0,7	0,08	5,7	3,77	3,85	9,47	39,8	2,1	48,5	50,0	46,5	2,75
4,8	5,5	35	1,7	0,4	0,15	5,2	2,19	2,34	7,39	29,6	6,4	48,5	25,0	49,0	1,93

Condução e delineamento experimental

Para implantação dos experimentos, foi realizado preparo convencional do solo com uma aração no dia 14-09-2021, seguida de uma gradagem e logo após a calagem realizou-se a segunda gradagem niveladora. Em 16-09-2021 foi realizada calagem com aplicação de 2,13 toneladas ha⁻¹ de calcário, com PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) de 90% composto por 31% de óxido de Cálcio (CaO) e 21% de óxido de Magnésio (MgO), visando elevar a saturação de bases a 60%. No experimento 2 foi realizada a aplicação de fosfito (Phi) em 30-09-2021 com aplicação de 2 toneladas ha⁻¹ e incorporado com niveladora, utilizando fosfato natural extraído no município de Taipas – TO.

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente no dia 06-10-2021 utilizando a cultivar X30R520VYH, com distribuição de 3,5 sementes por metro. Juntamente com a semeadura foi realizada a adubação de base, a fonte de Nitrogênio (N) utilizada foi ureia e potássio foi cloreto de potássio (KCl), contendo 11 kg de N; 160 kg de superfosfato triplo e 56,4 kg de K₂O. A semeadura do *Stylosanthes* cv. campo grande ocorreu no dia 7-10-2021 manualmente com 3 kg ha⁻¹, já a semeadura de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e *Urochloa ruziziensis* ocorreram 14 dias após o plantio (DAP) da cultura, totalizando 4 kg ha⁻¹ em ambas as áreas.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, contendo quatro repetições em esquema fatorial. O primeiro fator foi composto por seis consórcios de milho com forrageiras: milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MR); milho + *Urochloa brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *Urochloa brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e milho + *Urochloa ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS). O segundo fator foi composto por quatro doses de N: 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N respectivamente. Cada parcela foi formada por 12 linhas de semeadura com espaçamento de 0,50 m e 14 m de comprimento, totalizando uma área de 84 m². A adubação de cobertura ocorreu no estádio V4, com aplicação das doses de N em parcelas subdivididas e 40 kg ha⁻¹ de

K₂O, utilizando como fonte o KCl, com aplicação realizada manualmente nos dois experimentos.

Manejo fitossanitário

O manejo fitossanitário da cultura foi realizado de acordo as recomendações técnicas para a cultura. Para o controle de plantas daninhas utilizou-se 2 L ha⁻¹ de Atrazina (500 g L⁻¹) somente nas parcelas de milho solteiro em pós-emergência. O controle de pragas e doenças foi realizado com aplicação de 400 ml ha⁻¹ de Zeta-Cipermetrina (200 g L⁻¹); 0,4 L ha⁻¹ de Picoxistrobina (200 g L⁻¹); e 1 L ha⁻¹ da mistura de beta-ciflutrina (12,5 g L⁻¹) + imidacloprido (100 g L⁻¹), durante o período vegetativo da cultura.

Aquisição de dados espectrais

As imagens multiespectrais para avaliar os índices de vegetação foram coletadas aos 33 dias após plantio (DAP) quando as plantas estavam no estágio fenológico V6. Foram avaliados os seguintes comprimentos de onda: verde (550 nm), vermelho (660 nm), borda do vermelho (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm). Utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem, a uma altitude de 100 m, permitindo uma resolução espacial da imagem de 0,10 m. O eBee foi equipado com um sensor multiespectral Parrot Sequoia. O sensor Sequoia inclui 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 (SILVA et al., 2020).

As informações adquiridas nestes comprimentos de onda permitiram calcular os diferentes índices de vegetação (IVs), conforme apresentado na Tabela 2. O levantamento aéreo foi das 9 às 10 horas, em condições de céu aberto sem presença de nebulosidade, utilizando a tecnologia RTK (*Real-Time Kinematics*), possibilitando estimar a posição da câmera no momento da coleta de imagem, com acurácia de 2,5 cm. As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas usando o pacote de software Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens foi verificada por meio de pontos de controle terrestre (GCP - *Ground Control Points*), obtidos por meio de levantamentos de dados em combinação com RTK.

Tabela 2. Equações e referências dos índices de vegetação (IVs) utilizados.

Sigla	Índice de vegetação	Equações
--------------	----------------------------	-----------------

NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada	$\frac{nir - red}{nir + red}$
NDRE	Índice de borda vermelha com diferença normalizada	$\frac{nir - rededge}{nir + rededge}$
SAVI	Índice de vegetação ajustado ao solo	$(1 + 0,5) \frac{nir - red}{nir + red + 0,5}$
EVI	Índice de vegetação aumentada	$\frac{nir - red}{(nir + 6red - 7,5green) + 1}$

Avaliações agronômicas

Aos 130 DAP procedeu-se as avaliações dos componentes morfológicos de plantas de milho no estágio de grão úmido (R5) com as seguintes avaliações: a) altura de plantas (AP, m), medida por ocasião da maturação fisiológica em cinco plantas ao acaso na área útil da parcela, utilizando régua graduada, tomando como referência a distância entre a superfície do solo e a extremidade da planta; b) altura de inserção da espiga (AIE, m), medida em cinco plantas da parcela com auxílio de régua graduada da superfície do solo à inserção da primeira espiga em sentido ascendente; c) diâmetro do colmo (DC, mm), medido com auxílio de um paquímetro digital no entrenó abaixo da espiga, em cinco plantas por parcela. Os componentes de produção foram: d) número de fileiras por espigas (NFE), realizando a contagem manual de fileiras em cinco espigas coletadas na área útil; e) número de grãos por espiga (NGE), obtido pela contagem de grãos em cinco fileiras e calculados pela multiplicação do número de fileiras por espiga e grãos na fileira; f) produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), obtida através da pesagem dos grãos colhidos na área útil da parcela, corrigido a 13% de umidade.

Análises estatísticas

Os resultados com os IVs e os componentes morfológicos e componentes de produção das plantas foram submetidos a análises estatísticas, e quando apresentaram significância para o teste F, as médias dos fatores qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey.

Para os fatores quantitativos (doses de N), as equações foram ajustadas com F significativo pelas regressões polinomiais entre as doses de N (variável independente) com as demais variáveis dependentes, buscando o modelo que melhor expressasse esta relação. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software Rbio (BHERING, 2017).

RESULTADOS

Esse estudo avaliou duas áreas distintas, nelas foram cultivadas a cultura do milho consorciado com forrageiras sob doses de N em cobertura, ambas se distinguindo pela presença e ausência de aplicação de fosfito (Phi), sendo avaliados os componentes morfológicos e de produção das plantas, além dos índices de vegetação (IVs). Os resultados estão descritos a seguir, sendo separados por área.

Sem fosfito

No quadro da análise de variância, são apresentados os quadrados médios e a significância do teste F para as variáveis analisadas, assim como suas interações (Tabela 3). Dentre as fontes de variação, os consórcios (C) responderam significativamente para número de grãos por espiga (NGE) e produtividade de grãos (PROD).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PROD), índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI), avaliados em todos os consórcios (C) e doses de nitrogênio (N) em cobertura, na área sem fosfito na safra 2021/2022.

FV	GL	NDVI	NDRE	SAVI	EVI	AP
Bloco	3	0,02*	0,00 ^{ns}	0,01*	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
C	5	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Erro a	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
N	3	0,01***	0,01***	0,01***	0,00***	0,08***
C x N	15	0,00**	0,00*	0,00*	0,00*	0,00 ^{ns}
Erro b	54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
CV1 (%)		5,73	16,15	11,58	15,75	3,98
CV2 (%)		2,24	5,34	4,26	5,91	4,71
FV	GL	AIE	DC	NFE	NGE	PRO
Bloco	3	0,01 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,74*	0,29*	15632 ^{ns}
C	5	0,01 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,46 ^{ns}	4707,10**	349962***
Erro a	15	0,01	0,69	0,19	908,90	10711
N	3	0,04***	3,00 ^{ns}	0,83*	20177,80***	12267210***
C x N	15	0,01 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2761,00 ^{ns}	141398***
Erro b	54	0,01	1,22	0,29	1583,20	25552
CV1 (%)		5,78	5,60	3,12	6,30	1,00
CV2 (%)		6,77	7,45	3,87	8,31	1,55

* significativo a 5%, ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1% e ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; FV: fontes de variação; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade.

O nitrogênio (N) obteve resposta positiva para altura de plantas, altura de inserção da espiga, número de fileiras por espigas, número de grãos por espiga, produtividade, e os IVs

(NDVI, NDRE, SAVI e EVI). O efeito da adubação nitrogenada representa a importância para a cultura, que atua no desenvolvimento das plantas realizando processos fotossintéticos, expansão e divisão celular impactando diretamente na produtividade.

O efeito da interação entre C x N mostra que houve significância para população de plantas, produtividade e os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI). Esse resultado evidencia que essas variáveis respondem de maneira distintas de dependentes as doses e aos consórcios.

No desdobramento de consórcios dentro de doses de N (Tabela 4), não houve diferença entre os consórcios para o NDVI, NDRE, SAVI e EVI, indicando que todas as médias são iguais estatisticamente.

Tabela 4. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos índices de vegetação NDVI, NDRE, SAVI e EVI em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras na safra 2021/2022.

Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Consórcios					
	M	MR	MP	MS	MRS	MPS
Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)						
0	0.77 a	0.78 a	0.79 a	0.78 a	0.79 a	0.79 a
60	0.82 a	0.80 a	0.81 a	0.82 a	0.81 a	0.81 a
120	0.84 a	0.81 a	0.81 a	0.83 a	0.81 a	0.84 a
240	0.84 a	0.82 a	0.81 a	0.85 a	0.79 a	0.83 a
Índice de borda vermelha com diferença normalizada (NDRE)						
0	0.17 a	0.17 a	0.17 a	0.17 a	0.18 a	0.16 a
60	0.19 a	0.19 a	0.18 a	0.19 a	0.19 a	0.18 a
120	0.20 a	0.20 a	0.19 a	0.20 a	0.19 a	0.20 a
240	0.21 a	0.20 a	0.20 a	0.21 a	0.18 a	0.20 a
Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)						
0	0.52 a	0.54 a	0.50 a	0.53 a	0.54 a	0.54 a
60	0.57 a	0.56 a	0.57 a	0.59 a	0.57 a	0.57 a
120	0.60 a	0.57 a	0.56 a	0.60 a	0.57 a	0.60 a
240	0.60 a	0.58 a	0.57 a	0.63 a	0.54 a	0.59 a
Índice de vegetação aumentada (EVI)						
0	0.25 a	0.26 a	0.26 a	0.26 a	0.26 a	0.26 a
60	0.26 a	0.27 a	0.28 a	0.29 a	0.28 a	0.28 a
120	0.29 a	0.27 a	0.27 a	0.30 a	0.27 a	0.30 a
240	0.30 a	0.29 a	0.27 a	0.31 a	0.26 a	0.29 a

Médias seguidas por letras iguais nas mesmas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS).

Na interação entre os consórcios e doses de N aplicado em cobertura para o NDVI (Figura 2), na modalidade de consórcio MR e MP e MS se ajustaram ao modelo linear, enquanto M destacou-se obtendo maior valor, atingindo a máxima refletância do dossel das plantas com incremento até a dose de 150 kg ha⁻¹ de N, com ajuste ao modelo quadrático.

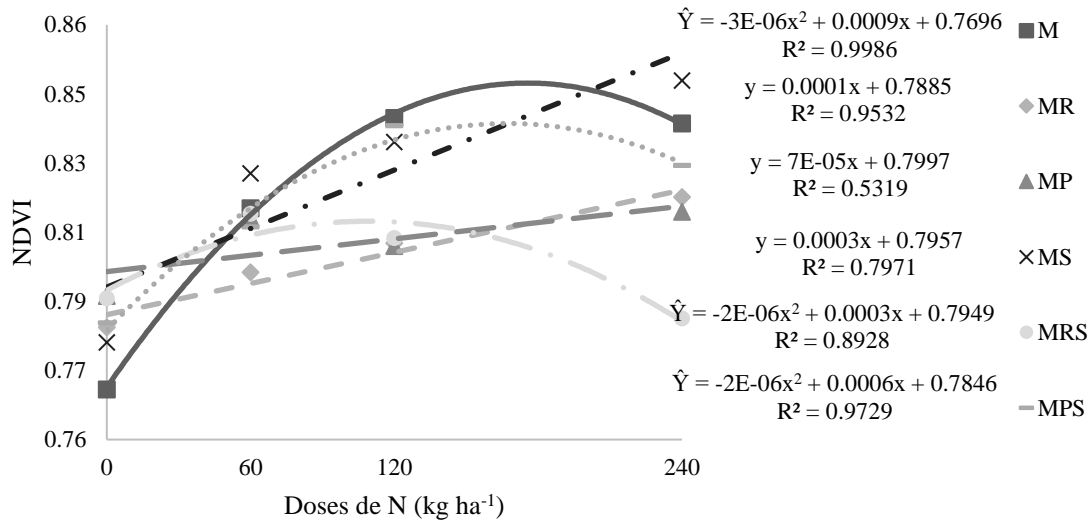


Figura 2. Índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

Resultados observados para o NDRE (Figura 3) indicou que MR, MP e MS se ajustaram ao modelo linear e o M se destacou atingindo máxima refletância do dossel até a dose de 250 kg ha⁻¹ com ajuste ao modelo quadrático.

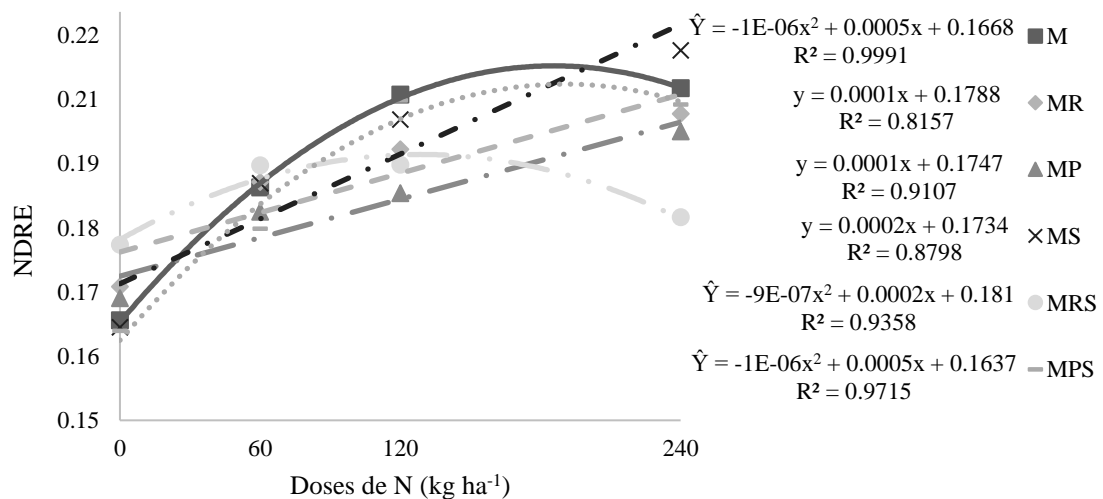


Figura 3. Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (NDRE) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

Na Figura 4 para SAVI os consórcios MR, MP e MS mostraram-se semelhantes ao NDRE, com ajuste ao modelo linear para esses consórcios, e M também se destacou com máxima eficiência de N até a dose de 183 kg ha⁻¹ com menor queda de refletância do dossel foliar, ajustando-se ao modelo quadrático.

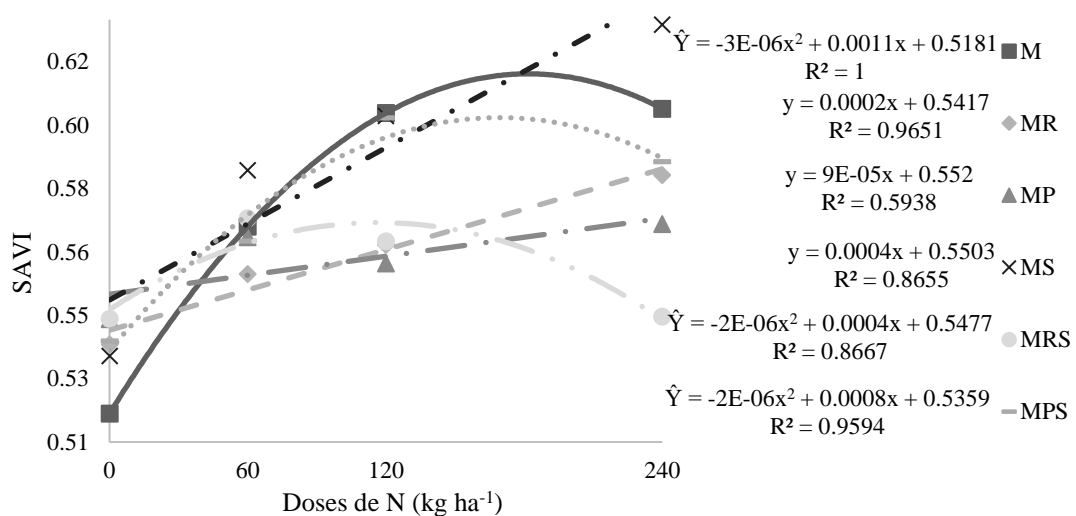


Figura 4. Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

Devido a sua maior sensibilidade a intensa vegetação, o EVI (Figura 5) mostrou resultados semelhantes aos índices observados anteriormente (NDVI, NDRE e SAVI) para os mesmos consórcios, enquanto M se destacando com ajuste ao modelo quadrático atingindo máxima refletância do dossel na dose de 150 kg ha⁻¹ de N.

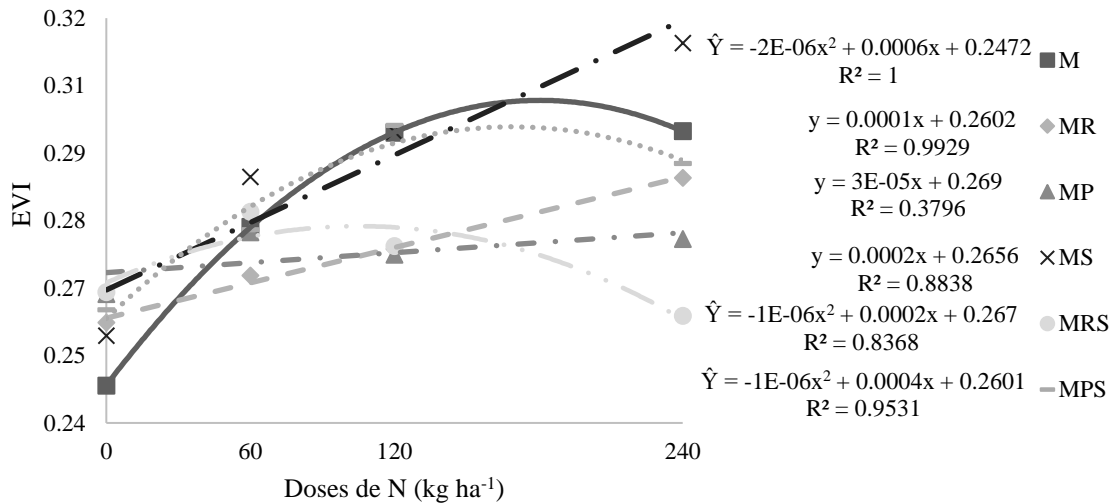
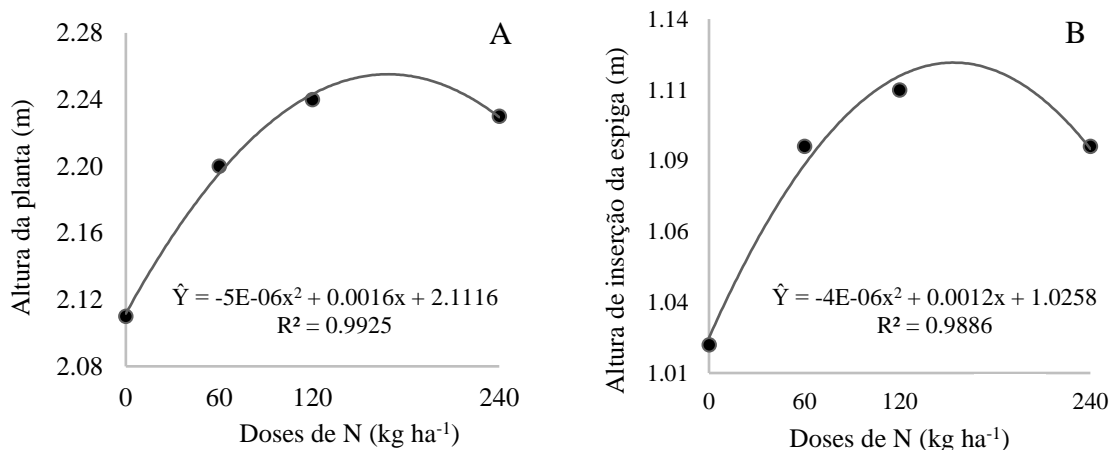


Figura 5. Índice de vegetação melhorada (EVI) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

As variáveis altura de plantas (AP) e altura de inserção de espiga (AIE), apresentaram efeito quadrático em relação as doses de N, evidenciando o efeito positivo sobre parâmetros que compõem o crescimento e o rendimento da cultura do milho (Figura 6A e 2B). Logo, o ponto de máxima estimado para AP e AIE foi na dose de 160 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.



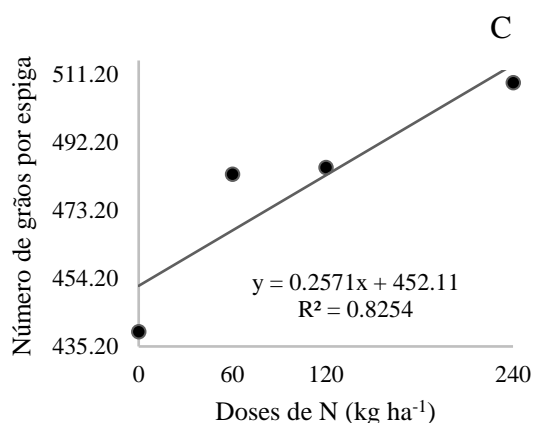


Figura 6. Altura da planta (A), altura de inserção da espiga (B) e número de grãos por espiga (C) para a cultura do milho manejada com doses de N.

Não houve ajuste de modelo para a variável número de fileiras por espiga (NFE). Já a equação apresentada na Figura 2C, mostra que o número de grãos por espiga (NGE) ajustou-se ao modelo linear com o aumento de doses de N.

No desdobramento da interação significativa entre os consórcios e doses de N para PROD (Tabela 5), nota-se que MRS apresentou maior produtividade, porém não diferiu estatisticamente dos demais consórcios. Possivelmente houve suprimento adequado de N, ocorrendo formação adequada de moléculas de clorofilas refletindo bandas espectrais de forma apropriada.

Tabela 5. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos consórcios para produtividade de grãos (PROD t ha⁻¹) em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras, em área sem fosfito na safra 2021/2022.

Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Consórcios					
	M	MR	MP	MS	MRS	MPS
Produtividade de grãos (t ha ⁻¹)						
0	9.53 ab	9.55 ab	9.42 ab	9.29 b	9.62 a	9.34 ab
60	10.16 abc	9.93 c	10.38 ab	9.92 c	10.46 a	10.08 bc
120	11.07 ab	11.28 a	10.80 bc	10.53 cd	11.07 ab	10.48 d
240	11.13 a	11.04 ab	10.79 b	11.13 a	11.09 ab	10.86 ab

Médias seguidas por letras iguais nas mesmas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS).

Houve ajuste quadrático para produtividade de grãos (PROD) na modalidade de consórcio M, MR, MP e MRS em resposta as doses de N, enquanto MS e MPS se ajustaram ao

modelo linear (Figura 7), as modalidades de consórcios M, MR e MRS se destacaram indicando incremento de produtividade de grãos até a dose de 201,5 kg ha⁻¹, 191 kg ha⁻¹ e 185 kg ha⁻¹ de N respectivamente.

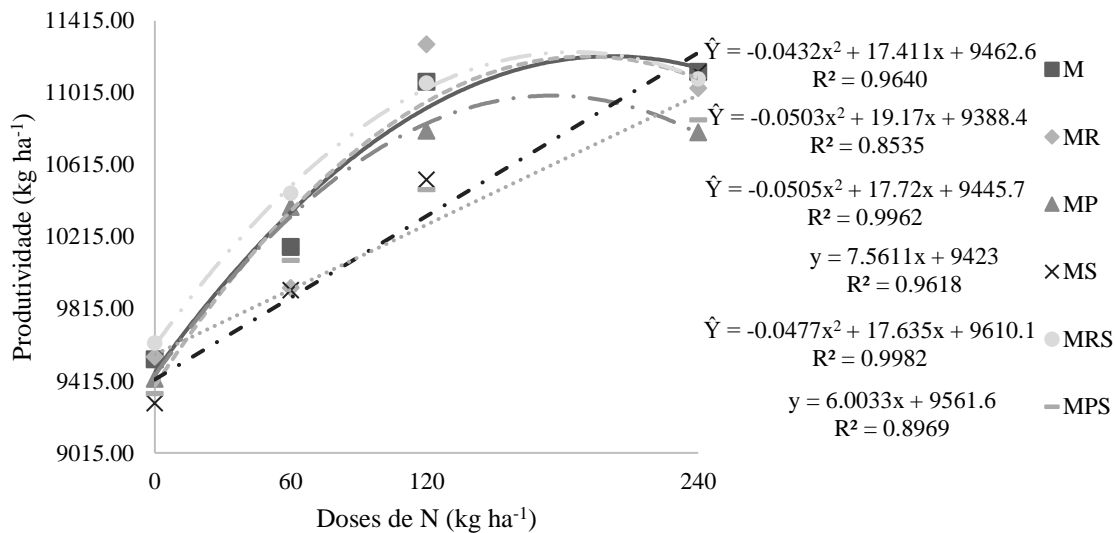


Figura 7. Produtividade de grãos (PROD) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

Com fosfito

O efeito de consórcios (C) obteve significância apenas para produtividade dentre as variáveis avaliadas (Tabela 5). As doses de nitrogênio (N) foram significativas em todas as variáveis exceto número de fileiras por espiga (NFE). A interação entre C x N foi significativa apenas para produtividade de grãos (PRO) demonstrando que as variáveis respondem de forma diferente as doses de N fornecidas.

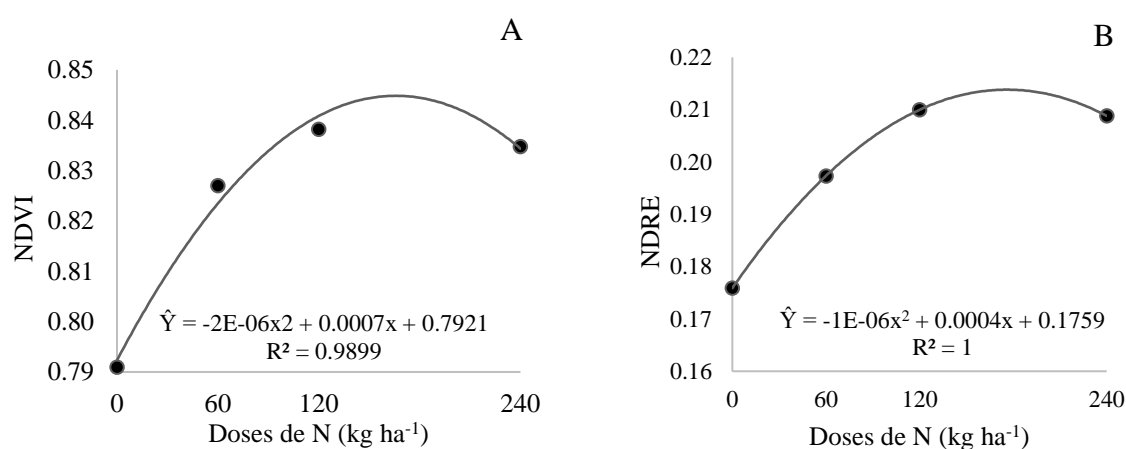
Tabela 6. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PROD), índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI

e EVI) avaliados em todos os consórcios (C) e doses de nitrogênio (N) em cobertura, na área com fosfito na safra 2021/2022.

FV	GL	NDVI	NDRE	SAVI	EVI	AP
Bloco	3	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}
C	5	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Erro a	15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
N	3	0,01***	0,01***	0,02***	0,00***	0,21***
C x N	15	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Erro b	54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CV1 (%)		7,27	14,95	14,35	19,65	5,42
CV2 (%)		2,54	4,58	4,57	6,22	4,72
FV	GL	AIE	DC	NFE	NGF	PROD
Bloco	3	0,01 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,06 ^{ns}	4809,70 ^{ns}	2550 ^{ns}
C	5	0,00 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1734,90 ^{ns}	229914***
Erro a	15	0,00	1,96	0,42	1553,00	15360
N	3	0,12***	7,66**	0,21 ^{ns}	26881,90***	9274277***
C x N	15	0,00 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,38 ^{ns}	2051,30 ^{ns}	38162***
Erro b	54	0,00	1,76	0,42	1704,20	9455
CV1 (%)		6,28	9,33	4,63	8,17	1,20
CV2 (%)		6,56	8,85	4,62	8,56	0,94

significativo a 5%, ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1% e ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; FV: fontes de variação; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade.

Os IVs mostraram-se significativos para as diferentes doses de N em cobertura (Figura 10). Os resultados observados indicaram efeito positivo com ajuste da regressão ao modelo quadrático para todos os IVs (NDVI, NDRE, SAVI e EVI).



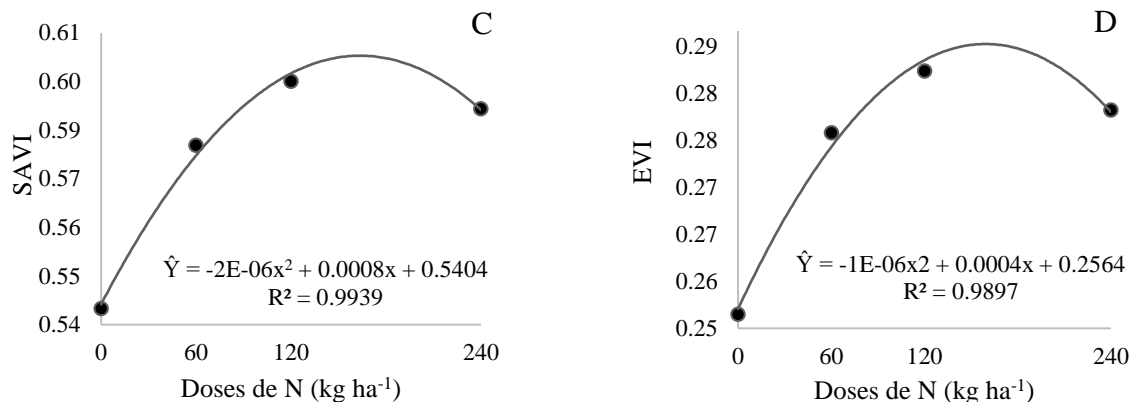
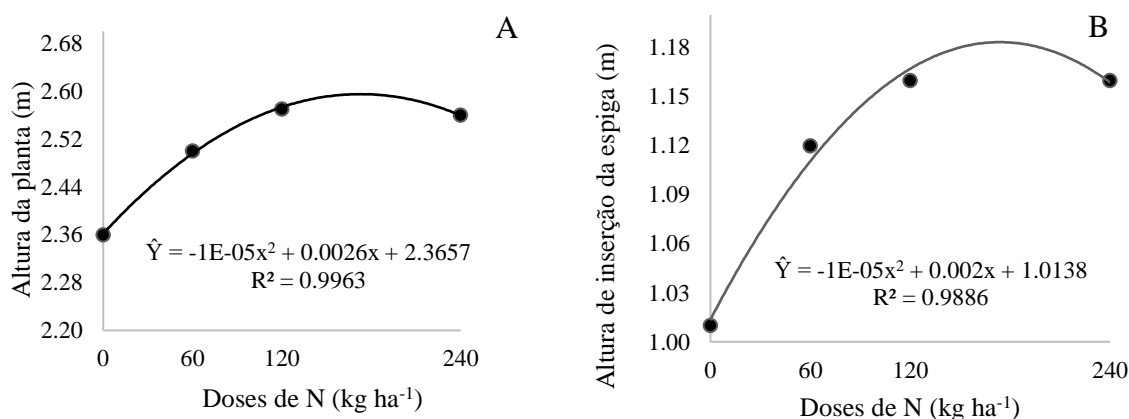


Figura 10. Índices de vegetação NDVI (A), NDRE (B), SAVI (C) e EVI (D) manejada com doses de N.

O NDVI indicou máxima refletância do dossel na dose de 175 kg ha⁻¹(Figura 10A), a equação para o gráfico de NDRE apresentado na Figura 10B ($R^2=1$), indica que esse modelo explicou de forma eficiente o NDRE entre as doses, podendo ser utilizado para determinar doses ideais de N para as plantas. Os IVs (NDRE, SAVI e EVI) forneceram respostas com incremento de N até a dose de 200 kg ha⁻¹.

A significância de N para AP demonstra a importância desse elemento, principalmente quando em consórcio com forrageiras (Figura 8A), com máxima eficiência até a dose de 160 kg ha⁻¹ ao longo do ciclo da cultura. O ajuste do modelo quadrático para AIE, obteve valor máximo na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (Figura 8B).



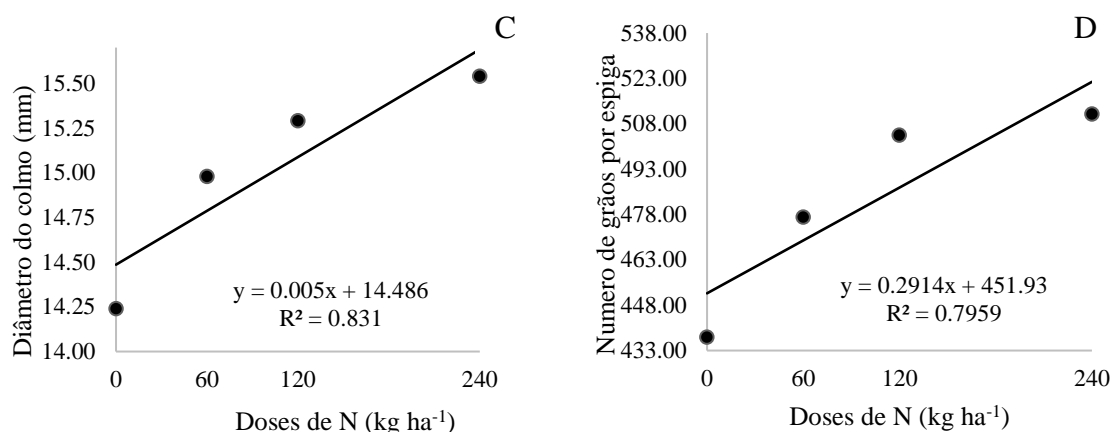


Figura 8. Altura da planta (A), altura de inserção da espiga (B), diâmetro do colmo (C) e número de grãos por espiga (D) para a cultura do milho manejada com doses de N.

Houve ajuste ao modelo linear para diâmetro do colmo (DC), indicando que até essa dose ocorreu expansão e divisão celular o que favoreceu o desenvolvimento do colmo (Figura 8C). Na Figura 8D, o N fornecido em cobertura, indicou resposta positiva com ajuste ao modelo linear para a variável número de grãos por espiga (NGE).

Na Tabela 7 a interação dos consórcios de milho com forrageiras e doses de N em cobertura, a modalidade de consorcio M indicou maior PROD quando comparado aos demais consórcios estatisticamente, independente da dose de N. A dose de 60 kg ha⁻¹ segundo dados estatísticos, foi a que proporcionou maior produtividade de grãos para todos os consórcios, exceto MPS. Porém, não diferiu na dose máxima fornecida de 240 kg ha⁻¹ os consórcios M, MS e MRS.

Tabela 7. Desdobramento da interação significativa da análise de variância referente aos consórcios para produtividade de grãos (PROD, t ha⁻¹) em função das doses de N para a cultura do milho consorciada com forrageiras, em área com fosfito na safra 2021/2022.

Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Consórcios					
	M	MR	MP	MS	MRS	MPS
Produtividade de grãos (t ha ⁻¹)						
0	9.80 a	9.60 ab	9.64 a	9.62 ab	9.60 ab	9.42 b
60	10.36 a	10.16 a	10.20 a	10.23 a	10.31 a	9.89 b
120	11.03 a	10.64 bc	10.82 ab	10.76 bc	10.71 bc	10.56 c
240	11.16 a	10.86 b	10.86 b	11.13 a	10.96 ab	11.06 ab

Médias seguidas por letras iguais minúsculas nas mesmas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. Piatã* (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. cv. Piatã* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS).

A relação entre os consórcios e doses de N favoreceu a produtividade de grãos da cultura do milho, todas as modalidades de consórcios se ajustaram ao modelo linear, M e MS se destacaram (Figura 9), inferindo-se que nesses consórcios as plantas tiveram melhor aproveitamento do N.

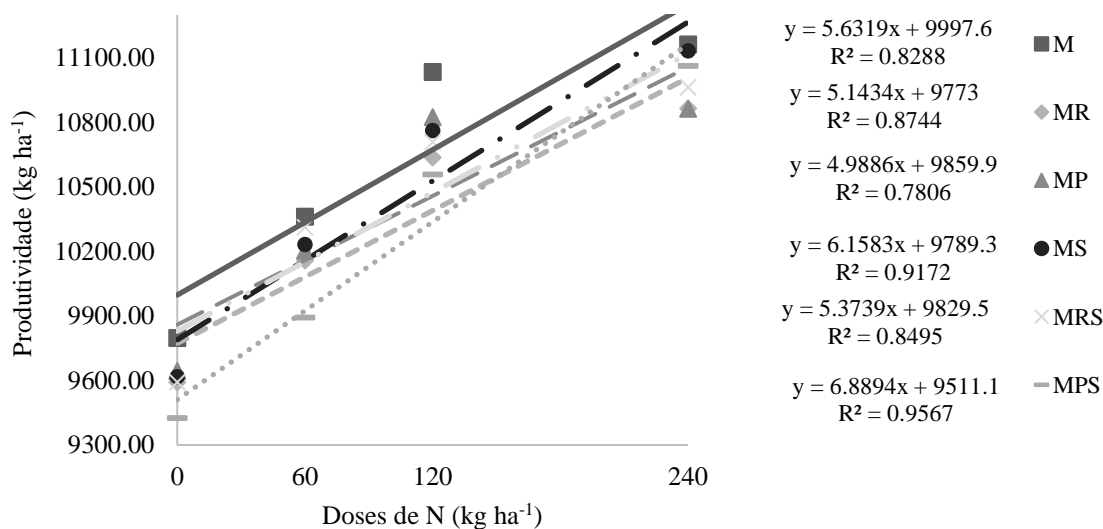


Figura 9. Produtividade de grãos (PROD) em função dos consórcios de milho solteiro (M); milho + *U. ruziziensis* (MR); milho + *U. brizantha* cv. Piatã (MP); milho + *Stylosanthes* cv. campo grande (MS); milho + *U. ruziziensis* + *Stylosanthes* cv. campo grande (MRS); milho + *U. brizantha* cv. Piatã + *Stylosanthes* cv. campo grande (MPS) e doses de nitrogênio em cobertura.

DISCUSSÃO

O milho quando em consorcio com a braquiária, é muito influenciado pela velocidade de estabelecimento da forrageira e aumento da competição pelos recursos do meio, o que pode prejudicar o desenvolvimento da cultura e sua produtividade (PARIZ et al., 2011). Este fato corrobora com Silva et al. (2015), citam que a emergência da braquiária junto a do milho pode ter contribuído na maior capacidade competitiva e redução de 8% na produtividade. Portanto, quando há interesse pela produção de grãos sem afetar a produtividade torna-se viável reduzir a densidade de semeadura da espécie forrageira, ou realizar a semeadura tardia.

Além da competição, o manejo da adubação nitrogenada do milho em consorcio com braquiárias é um parâmetro importante que deve atender a demanda das espécies consorciadas, sem prejudicar a produtividade de ambas, visto que são altamente exigentes pelo elemento (COSTA et al., 2012). Resultados observados tanto na área sem fosfito (Phi) quanto na área com Phi, mostram que os consórcios não tiveram influência negativa na produtividade de grãos. Indicando que a competição existente entre as espécies não interferiu na absorção de água, luz

e nutrientes e que as condições climáticas (Figura 1) foram favoráveis, contribuindo para o desenvolvimento das plantas.

Considerado o constituinte da clorofila no qual é responsável pela captação da luz solar para realização da fotossíntese, o N é altamente requerido pelo milho. Logo, o teor de N nas plantas indica elevada atividade fotossintética da clorofila nas folhas, fator que destaca a refletância no comprimento de onda verde (RESENDE; SHIRATSUCHI, 2016). Indicando influência na refletância sob a cultura do milho (SANTANA et al., 2021).

Em cobertura quando em doses elevadas favorece a resposta ao rendimento da cultura do milho, no entanto adubações em excesso podem causar impactos ambientais, a fim de reduzir esse processo tem-se utilizado técnicas de monitoramento remoto como os índices de vegetação (IVs), que auxiliam na tomada de decisão quanto a quantidade adequada de N que deve ser fornecido à uma lavoura de acordo a exigência nutricional da cultura (SANTANA et al., 2021). Isso ocorre, devido a sensibilidade que os IVs apresentam na detecção do verde da vegetação Xue e Su. (2017), e a adubação nitrogenada possui papel fundamental nesse processo.

A utilização de sensores de vegetação, podem ser importantes ferramentas para auxiliar na quantificação do potencial produtivo, na eficiência do uso de N e na estimativa de doses de fertilizantes nitrogenados, de acordo a real necessidade da cultura (VIAN et al., 2018).

O NDVI é um dos índices mais utilizados, que possibilita obter dados sobre o dossel das plantas, com capacidade de identificar potenciais produtivos na lavoura de milho em diferentes estádios fenológicos, destacando a importância do N na definição do potencial produtivo da cultura, se tornando uma alternativa viável para determinar a adubação nitrogenada de acordo ao potencial produtivo da cultura (VIAN et al., 2018). Nas áreas estudadas o NDVI evidencia a influência positiva da adubação nitrogenada na refletância do dossel das plantas, porém quando em consorcio o teor de refletância é influenciado pelas demais culturas presentes.

Na presença de intensa massa vegetal, o NDVI se torna limitante no teor de refletância da cultura, decorrente da rápida saturação que ocorre devido a resposta espectral na faixa do infravermelho próximo, utilizado no cálculo do NDVI, a saturação ocorre quando a cobertura vegetal ou a população de plantas atinge nível elevado, afetando o monitoramento (LI et al., 2015; GITELSON et al., 2002). A resposta ao NDVI observado nessa pesquisa indicou maior destaque a modalidade de consorcio M e MS, possivelmente os demais consórcios apresentaram maior massa vegetal que influi na refletância do dossel vegetal.

O NDRE é mais apropriado para determinar a demanda de N na cultura do algodão, devido a sua maior sensibilidade Raper e Varco (2015), e na detecção do teor foliar de N em plantas de mecanismo C4 (PORTZ et al., 2012). A sua aplicação auxilia na previsão das condições nutricionais da lavoura, identificando a necessidade de uso de fertilizantes em determinadas localidades, melhorando a produtividade da cultura. Dessa forma, apresentando maior associação com o teor de N foliar e total das plantas de milho Flores et al. (2020), e junto ao NDVI fornecem informações exatas quanto ao rendimento de grãos da cultura de milho (SANTANA et al., 2021). Para esse índice as respostas ao N foram semelhantes ao NDVI, e na modalidade de consorcio M apresentou maior destaque, indicando também saturação quando em consorcio com outras culturas.

O SAVI se destaca minimizando os efeitos do solo gerando resultados mais confiáveis, representando melhor o vigor das plantas, com ele não ocorre a saturação como no NDVI, podendo também ser utilizado para a estimativa de índice de nutrição na cultura do milho (BRAZ et al., 2015; ZHAO et al., 2018). Além de estimar o teor de N foliar, também é uma importante ferramenta na identificação do rendimento de grãos (SANTANA et al., 2022; ZHAO et al., 2018). Na área sem Phi, a análise de regressão para SAVI obteve destaque para as modalidades de consorcio M e MS indicando que essas são plantas mais vigorosas e bem nutridas e que responderam melhor na produção de grãos da cultura.

O EVI é menos sensível a mudanças ao fundo do solo quando a cobertura vegetal é baixa, a adição da faixa azul minimiza distorções da luz refletida por partículas da atmosfera e do solo sob vegetação, no entanto, se torna mais sensível que o NDVI quando em alta densidade de vegetação que satura com alta concentração de clorofila (BEHERA et al., 2018). Pode ser utilizado em diferentes culturas para a predição de desenvolvimento vegetal e rendimento, sendo o melhor para a estimativa de produtividade de grãos juntamente ao NDVI para as plantas de milho (SHAMMI; MENG, 2020). O EVI apresentou saturação quando em intensa massa vegetal, assim como os demais índices, este fato sugere que podem ser utilizados como ferramentas na determinação de adubação nitrogenada.

Nesse estudo, os dados de refletância espectral do dossel foram utilizados para identificar os quatro índices de vegetação nas duas áreas estudadas, em função dos consórcios e doses de N fornecidas em cobertura. Especificamente, os índices utilizados foram NDVI, NDRE, SAVI e EVI. Resultados observados para os IVs sugerem que podem ser utilizados para estimar adubação nitrogenada para a cultura expressar seu potencial produtivo, porém devido a

sensibilidade que apresentaram na detecção de intensa massa vegetal, torna seu uso limitado quando em consórcio com espécies forrageiras com a cultura do milho, não gerando resultados confiáveis. E quanto as modalidades de consórcios todos responderam de forma semelhante para os mesmos consórcios M e MS em função de doses de N. Dessa forma, identificar fatores limitantes de cada IVs além da sua adequação de uso, deve ser realizado de forma minuciosa, considerando vantagens e limitações que cada um oferece, para seguída aplicações em local específico.

O N possui maior influência sob características agrônômicas nas plantas de milho. O fornecimento em cobertura favorece seu crescimento inicial, indicando que independente do sistema de cultivo a altura das plantas pode ser menor quando não há disponibilidades de N (PATEL et al., 2019). O incremento de doses fornecidas proporciona maior altura de plantas, inserção da espiga e diâmetro do colmo, evidenciando a importância desse nutriente no crescimento e desenvolvimento vegetal (PEDRAZZI et al., 2016). Dessa forma, doses elevadas podem ser necessárias quando ocorre a consorciação da cultura produtora de grãos e espécies forrageiras, a fim de suprir a demanda para adequado crescimento das plantas, pelo fato de ambas possuírem metabolismo C4 (BORGHI; CRUSCIOL, 2007).

Considerado o constituinte da clorofila, o N tem participação direta no processo fotossintético, que influi na expansão e divisão celular promovendo maior altura de plantas, inserção da espiga e diâmetro do colmo (GOES et al., 2014). No entanto, pesquisadores indicam que a melhor estratégia é buscar plantas que possuem AIE menor Pizolato Neto et al. (2016), pois uma alta relação entre AIE e AP promove maior deslocamento do centro de gravidade da planta o que pode causar maior quebra de colmo (KAPPES et al., 2013b).

A resposta ao N nesta pesquisa foram maiores as observadas pelos autores Goes et al. (2014); Torres et al. (2014), nas áreas estudadas para os componentes morfológicos e de produção, tais resultados podem ter relação ao sistema de cultivo, visto que a presença da palhada na superfície do solo de culturas anteriores contribui na maior disponibilidade de N residual obtido por meio da mineralização de resíduos vegetais, reduzindo a quantidade de N necessária para a cultura do milho em sistemas integrado, podendo também está relacionada com o tipo de solo.

Solos da região do cerrado possuem baixos teores de matéria orgânica, tornando necessário realizar doses elevadas de N para a cultura do milho. Dessa forma, taxas altas de N além de manter a planta bem nutrida favorece o crescimento da área foliar, já que é constituinte

de moléculas vitais para a planta em todo processo metabólico, sobretudo a clorofila responsável pela fotossíntese, esse processo prolonga a duração do período de enchimento de grãos, no entanto a concentração de N foliar e a maior produtividade da cultura indica também, que a adubação com N deve ser realizada em época e dose adequada, favorecendo o aproveitamento pela planta e produção de grãos mais pesados (SILVA et al., 2005).

A resposta para AP e DC observados nesse estudo, são importantes levando em consideração a capacidade de translocação e o acúmulo de nutrientes para as espigas na fase de enchimento de grãos. No entanto, DC só indicou resultado significativo na área com fosfito, onde o consórcio da cultura do milho com espécies forrageiras não interferiu no desenvolvimento dos colmos indicando homogeneidade entre as espécies. Possivelmente havia plantas com colmos de maior espessura o que garante maior resistência ao tombamento pela ação de condições climáticas, e quebraimento em função da colheita, tornando a translocação mais eficiente refletindo na produtividade (COSTA et al., 2012). Isso ocorre, uma vez que colmos de maior diâmetro proporciona maior capacidade da planta em armazenar fotoassimilados, que contribui com o enchimento de grãos (KAPPES et al., 2011). Autores destacam a influência no crescimento do DC com fornecimento de N (KAPPES et al., 2013b; PEDRAZZI et al., 2016).

Doses crescentes de N promovem aumento de produtividade para número de fileira por espiga e número de grãos por fileira (GOES et al., 2012; SICHOCKI et al., 2014). No entanto, a variável número de fileira por espigas está mais associada a genética das variedades, que as práticas de manejo empregadas na cultura (BESEN et al., 2018). Devido a isso, a variável NFE não apresentou resposta ao manejo empregado na cultura. No entanto, para a variável NGE o manejo com N proporciona significativa melhora nas características da espiga promovendo aumento ao peso de grãos Li et al. (2020), além de favorecer o crescimento e desenvolvimento das plantas, também aumenta a produtividade de grãos. A produtividade de grãos está diretamente relacionada a essas variáveis, pois o N promove o aumento no número de óvulos formado por fileiras, favorecendo a produção de fotoassimilados o que reduz o abortamento de grãos, resultando no acréscimo dos componentes de produção (GAZOLA et al., 2014).

O milho consorciado com espécies forrageiras do gênero *Urochloa* não interfere nos componentes de produção e na produtividade, quando comparado ao cultivo de milho solteiro (GARCIA et al., 2013). Já adubação nitrogenada na cultura do milho proporciona aumento de 28% na produção de grãos e 37% na produção de fitomassa seca, alcançadas na dose de 240 kg

ha⁻¹ (ARAÚJO et al., 2004). Isso ocorre, pois, a adubação com N melhora o rendimento de grãos aumentando assim a produtividade da cultura Li et al. (2020), por esta razão o fornecimento de N é fundamental para a produção lucrativa de milho, além de reduzir as perdas para o meio ambiente quando realizadas recomendações de acordo a necessidade da cultura (MORRIS et al., 2017).

Importante frisar, que o cultivo consorciado pode ser considerado uma alternativa viável para aumentar a sustentabilidade (GARCIA et al., 2013; CECCON et al., 2012), Além de fornecer maior rentabilidade econômica ao produtor pela otimização na produção de forragem em uma mesma área com a cultura produtora de grãos, gerando sustentabilidade econômica e ambiental Richetti, (2013), melhorando as características físicas do solo minimizando a degradação e perda de nutrientes. Nesse estudo em ambas as áreas houve incremento de produtividade de grãos com a aplicação de doses de N, se destacando as modalidades de consórcio M e MS refletindo em maior produtividade quando comparadas aos demais consórcios.

CONCLUSÕES

As modalidades de consórcios M e MS indicam maior produtividade de grãos com a aplicação da dose de 240 kg ha⁻¹ de N.

O aumento de doses de N influencia positivamente os componentes morfológicos até a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, e os componentes de rendimento até a dose de 240 kg ha⁻¹.

Os índices de vegetação NDVI, NDRE, SAVI e EVI fornecem máxima refletância do dossel vegetal apenas para M e MS.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Embrapa solos, 5 ed. 2018, p. 356.

FARRELL, M. et al. Spectral indices from aerial images and their relationship with properties of a corn crop. **Precision Agriculture**, v. 19, p. 1127-1137, 2018.

FINK, J. R. et al. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 62-68, 2016.

FLORES, M. D. et al. Relationship between vegetation indices and agronomic performance of maize varieties under different nitrogen rates. **Bioscience Journal**, v. 36, p. 1638-1644, 2020.

GARCIA, C. M. et al. Desempenho agrônômico da cultura do milho e espécies forrageiras em sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado. **Ciência Rural**, v. 43, p. 589-595, 2013.

GAZOLA, D. et al. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 700-707, 2014.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 76-87, 2002.

GOES, R. J. et al. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 169-177, 2012.

GOES, R. J. et al. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura para a cultura do milho em espaçamento reduzido. **Revista Agrarian**, v. 7, p. 257-263, 2014.

HEUER, S. et al. Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. **The Plant Journal**, v. 90, p. 868-885, 2017.

KAPPES, C. et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, p. 334-343, 2011.

KAPPES, C. et al. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 37, p. 1310-1321, 2013a.

KAPPES, C. et al. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 527-538, 2013b.

LI, H. et al. Variations in crop variables within wheat canopies and responses of canopy spectral characteristics and derived vegetation indices to different vertical leaf layers and spikes. **Remote Sensing of Environment**, v. 169, p. 358-374, 2015.

LI, Q. et al. Grain-filling characteristics and yield differences of maize cultivars with contrasting nitrogen efficiencies. **The Crop Journal**, v. 8, p. 990-1001, 2020.

MANNA, M. et al. The development of a phosphite-mediated fertilization and weed control system for rice. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-13, 2016.

MORALES-MORALES, E. J. et al. Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 13, p. 345-354, 2022.

MORRIS, T. F. et al. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1-37, 2017.

OKUMURA, R. S. et al. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: Uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 226-244, 2011.

PARIZ, C. M. et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, p. 875-882, 2011.

PATEL, S. et al. Can Management Practices Enhance Corn Productivity in a Rye Cover Crop System? **Agronomy Journal**, v.111, p. 3161-3171, 2019.

PEDRAZZI, A. D. et al. Crescimento e acúmulo de fitomassa em função do manejo de nitrogênio na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, p. 410-417, 2016.

PEIRCE, C. A. et al. Wheat leaf properties affecting the absorption and subsequent translocation of foliar-applied phosphoric acid fertiliser. **Plant and Soil**, v. 384, p. 37-51, 2014.

PIZOLATO NETO, A. et al. Doses de nitrogênio para cultivares de milho irrigado. **Nucleus**, v. 13, p. 87-96, 2016.

PORTZ, G. et al. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 33-44, 2012.

RAPER, T. B., VARCO, J. J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 62-76, 2015.

RESENDE, Á. V., SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetros detectam demanda de nitrogênio em milho. **Campo & Negócios**, v. 14, p. 38-39, 2016.

RICHETTI, A. Viabilidade Econômica da Sucessão Consórcio Milho-Braquiária/ Soja/ Milho Safrinha. In: Ceccon, G. **Consórcio milho-braquiária**. Brasília. Embrapa Agropecuária Oeste, p. 164-175, 2013.

ROBERTS, T. L., JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 275-281, 2015.

SANTANA, D. C. et al. UAV-based multispectral sensor to measure variations in corn as a function of nitrogen topdressing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100534, 2021

SANTANA, D. C. et al. Structural equation modelling and factor analysis of the relationship between agronomic traits and vegetation indices in corn. **Euphytica**, v. 2, p. 18-44, 2022.

SANTOS, Í. P. et al. Frações de fósforo em gramíneas forrageiras tropicais sob fontes e doses de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 961-970, 2006.

SANTOS, M. M. et al. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (¹⁵N) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1185-1194, 2010.

SHAMMI, S. A., MENG, Q. Use time series NDVI and EVI to develop dynamic crop growth metrics for yield modeling. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107124, 2020.

SICHOCKI, D. et al. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo . **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, p. 48-58, 2014.

SILVA, D. V. et al. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1394-1400, 2015.

SILVA, E. C. et al. 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. E. et al. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100318, 2020.

TORRES, F. E. et al. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha . **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 36-41, 2014.

USDA, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE 2022. *Grain: World Markets and Trade*. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso 29 de agosto de 2022.

VENANCIO, L. P. et al. Potential of using spectral vegetation indices for corn green biomass estimation based on their relationship with the photosynthetic vegetation sub-pixel fraction. **Agricultural Water Management**, v. 236, p. 106155, 2020.

VIAN, A. L. et al. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, p. 91-100, 2018.

VINAS, M. et al. Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. **Scientia Horticulturae**, v. 265, p. 109200, 2020.

XUE, J., SU, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, p. 1-17, 2017.

ZHAO, B. et al. 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.