




Kaique Augusto P. DONATONI*

 <https://orcid.org/0000-0003-0924-8902>


Lucas Estevam BIANCHO**

 <https://orcid.org/0000-0002-2063-5180>

Camila Fernandes F. APARECIDO***

 <https://orcid.org/0000-0002-8429-950X>

Marcio Fernando GOMES****

 <https://orcid.org/0009-0003-3942-4468>

Recebido em: 29 de novembro de 2024.

Aprovado em: 10 de junho de 2025.

CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI E PRODUTIVIDADE NO SORGO FORRAGEIRO

RESUMO

A planta de sorgo, devido à sua notável capacidade de adaptação a diferentes ambientes, se destaca pela sua habilidade em produzir satisfatoriamente mesmo em condições desfavoráveis. Nesse contexto, o sensoriamento remoto surge como uma ferramenta valiosa, permitindo a aquisição de dados referentes a objetos, áreas ou fenômenos sem a necessidade de um contato físico com o alvo. O presente estudo teve como objetivo investigar a correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI e a produtividade no sorgo forrageiro. Foi realizado um acompanhamento de campo em uma área de cultivo de sorgo safra, onde foram coletados dados do NDVI e da produtividade da cultura. Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado - DIC, possuindo 4 tratamentos, com 5 repetições. A metodologia utilizada envolveu a obtenção de imagens de satélite NDVI. Além disso, foram realizadas medições diretas através da coleta de amostra e subsequente análise em laboratório. Avaliaram-se as características agrônomicas (altura da planta; diâmetro basal do colmo; estande de plantas), coletaram-se 5 plantas de Sorgo de cada parcela para aferir (peso bruto da planta sem a panícula; comprimento da panícula; diâmetro do colmo da panícula; peso bruto da panícula com semente), para determinar massa de 100 grãos e produtividade. Foram obtidos resultados que evidenciaram uma correlação significativa entre o NDVI e estimativa de produção do cultivo de sorgo. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a utilização do NDVI pode estimar a produtividade do sorgo forrageiro, fornecendo informações relevantes para a tomada de decisão.

Palavras-chave: agricultura de precisão; cobertura vegetal; solos; *Sorghum bicolor* L.; variação espacial.

CORRELATION BETWEEN NDVI VEGETATION INDEX AND PRODUCTIVITY IN FORAGE SORGHUM

ABSTRACT

Due to its remarkable adaptability to diverse environments, the sorghum plant stands out for its ability to yield satisfactorily even under unfavorable conditions. In this context, remote sensing emerges as a valuable tool, enabling the acquisition of data related to objects, areas, or phenomena without requiring physical contact with the target. This study aimed to investigate the correlation between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and productivity in forage sorghum. Field monitoring was conducted in a sorghum crop area, where NDVI values and crop productivity data were collected. A completely randomized design (CRD) with four treatments and five replications was used. The methodology included the acquisition of NDVI satellite imagery. Additionally, direct measurements were performed through sample collection and subsequent laboratory analysis. Agronomic characteristics—such as plant height, basal stem diameter, and plant stand—were evaluated. Five sorghum plants were collected from each plot to measure the gross plant weight without the panicle, panicle length, culm diameter of the panicle, and gross panicle weight with seeds. These data were used to determine 100-grain weight and yield. The results revealed a significant correlation between NDVI and estimated sorghum productivity. Based on the findings, it is concluded that NDVI is a useful tool for estimating forage sorghum productivity and can provide relevant information for decision-making.

Keywords: precision agriculture; vegetation cover; soil; *Sorghum bicolor* L.; spatial variation.

* Engenheiro Agrônomo, especialista em Agricultura de Precisão pelo Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP-BR - Unifunec, kaique.donatoni.agro@hotmail.com

** Engenheiro Agrônomo, especialista em Agricultura de Precisão pelo Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP-BR - Unifunec, lucasbianco01@hotmail.com

*** Doutora, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP-BR - Unifunec, camilaff_gyn@hotmail.com

**** Doutor, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP-BR - Unifunec, marcioparker@hotmail.com



1 INTRODUÇÃO

O sorgo tem se tornado uma cultura de destaque, principalmente pela sua versatilidade de produção, podendo ser utilizado como planta de cobertura em sistema plantio direto, para grãos sendo destinado à fabricação de rações e também como forragem para pastoreio (Fernandes *et al.*, 2020; Viana *et al.*, 2020) e silagem (Tiritan *et al.*, 2013). Quanto ao sorgo forrageiro, utiliza-se a planta inteira, sendo cortada para a produção de silagem, em que apresenta uma alta qualidade nutricional (Buso *et al.*, 2011; Tolentino *et al.*, 2016) e com um custo de produção baixo (Costa *et al.*, 2015; Rezende *et al.*, 2020).

O sorgo pertence à família das Poaceae, tendo como gênero o *Sorghum* e como espécie cultivada o *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Sua origem é de regiões cujo clima é tropical, sendo, provavelmente, da África, porém há evidências que apontem para possíveis regiões de distribuição independentes, como África e Índia.

É considerada uma planta autógama, que apresenta uma baixa taxa de fecundação cruzada. Seu metabolismo fotossintético é do tipo C4, com resposta fotoperiódica, ou seja, típica de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas. Possui sementes com capacidade de se manterem dormentes ao longo da estação da seca e, quando volta a época de chuva, tem bom crescimento e apresenta relativa resistência à dessecação (Sans *et al.*, 2003).

O sorgo tem como vantagem em relação as outras espécies a resistência a situações de déficit hídrico e também a condições de baixa fertilidade dos solos (Ribas, 2010). O que possibilita que as plantas demonstrem capacidade de desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com precipitação irregular e em sucessão a culturas de verão (Rodrigues Filho *et al.*, 2006).

O sorgo, quando comparado à cultura do milho, possui benefícios que garantem sua sobrevivência em condições de déficit hídrico, sendo: sistema radicular bem desenvolvido e fibroso, com capacidade de explorar melhor o perfil do solo em busca de água; baixo nível de transpiração, isso garante uma regulação estomática mais eficiente; área foliar reduzida; e é formado por uma cobertura cerosa, que se encontra presente no colmo e nas folhas (Fornasieri Filho; Fornasieri, 2009).

A espécie apresenta grande importância para a economia do Brasil, com uma área de cultivo de 842,4 mil hectares, e uma produção de 2,76 milhões de toneladas de grãos na safra 2020/21. Na região do Mato Grosso do Sul, verificou-se um aumento no percentual de área

cultivada com sorgo em relação à safra 2019/20, isso se deve à valorização do preço do grão e também à rusticidade da cultura (Conab, 2021).

De acordo com Rosa *et al.* (2010) os dados sobre a estimativa de produção são fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2023) e a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. O levantamento é feito por modelos estatísticos, pacotes tecnológicos modais que analisam as principais culturas em diversas localidades de produção, acompanhamentos agrometeorológicos, pesquisa de campo com produtores, informações de vendas de insumos agrícolas e análises de safras anteriores (Conab, 2016).

O uso de sensoriamento remoto - SR por satélite trouxe para a agricultura uma forma de monitoramento das condições das plantas e do solo, esse avanço tecnológico contribui para a tomada de decisões dos agricultores. Vários tipos de ferramentas e índices por imagens de satélite foram desenvolvidos nos últimos anos com o intuito de monitorar o estresse hídrico, mudanças no uso da terra e relações hídricas entre a cultura e o solo (Jindo *et al.* 2021). Com o SR, é possível monitorar a cultura plantada, suas condições fenológicas ou nutricionais e estimar a produtividade das lavouras (Rudorff; Moreira, 2002).

O sensoriamento remoto faz uso de várias técnicas e metodologias, com a capacidade de notar mudanças e variações na superfície da cobertura, através de informações geradas por sensores orbitais. Os resultados obtidos por meio dos estudos se mostraram altamente eficientes quanto à dinâmica da vegetação (Ramos, 2013).

A ligação entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos é a Radiação Eletromagnética - REM, por isso, é importante o entendimento de como ocorre o funcionamento das interações entre a REM e os diferentes materiais, como: rochas, solos, vegetação, água, construções, entre outros elementos, saber interpretar os dados coletados pelos diferentes sensores é o ponto chave (Shiratsuchi *et al.*, 2014).

Atualmente, os dados de SR são obtidos por meio de várias plataformas, como satélites, aeronaves, *Remotely Piloted Aircraft System - RPAS* e máquinas agrícolas autopropelidas (Weiss, Jacob; Duveiller, 2020). Essas plataformas fornecem métodos automatizados, com uma rápida medição de parâmetros, como: população de plantas, biomassa, nitrogênio ou clorofila, com uma alta resolução espacial e temporal, sobretudo para as aplicações agrícolas (Mulla, 2013).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI é um parâmetro utilizado no monitoramento da vegetação e construção de perfis, sazonal e temporal, das atividades das

vegetações, o que permite realizar um comparativo interanual desses perfis. No caso do perfil temporal do NDVI, tem por finalidade detectar atividades sazonal e fenológica, duração do período de crescimento, pico verde, alterações fisiológicas das folhas e senescência das culturas (Ponzoni; Shimabukuro, 2009).

De acordo com Soares *et al.* (2007), o NDVI é a refletâncias das bandas do infravermelho próximo do vermelho. O processo de construção dos perfis gerado pelo NDVI ocorre pela eliminação das diferenças sazonais do ângulo de elevação solar, minimizando os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais e, sendo sensível à presença de clorofila e a outros pigmentos da vegetação, que são responsáveis pela absorção da Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA, isso está diretamente relacionado à produtividade das culturas.

Os resultados do NDVI variam de -1 a 1, aqueles que se mantêm próximos de um representam áreas com maiores quantidades de vegetação com RFA, já os mais próximos de menos um representam áreas com menor quantidade de vegetação (Braz; Águas; Garcia, 2015).

Desse modo, observando o potencial do uso de técnicas de sensoriamento remoto e índices de vegetação, o objetivo do presente estudo foi avaliar a correlação entre o NDVI e a produtividade da cultura do sorgo forrageiro através das imagens via satélite.

2 METODOLOGIA

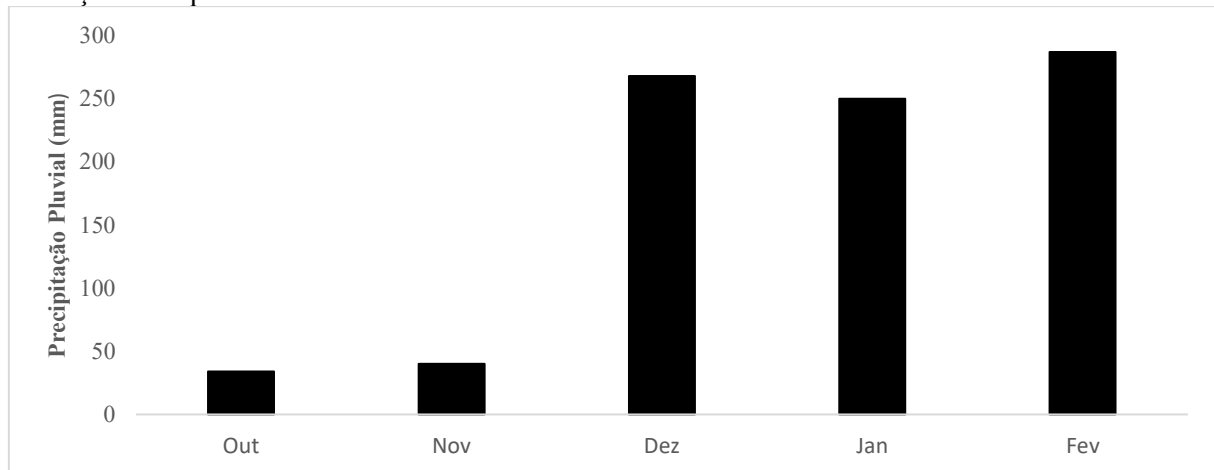
O estudo foi conduzido no Sítio Santa Luzia, localizado no município de Santa Albertina, São Paulo, nas coordenadas geográficas 20°00'09,4" de latitude Sul e 50°43'58,7" de longitude Oeste e a, aproximadamente, 378 m de altitude, na safra de outubro a fevereiro de 2022/23, levantando dados de área cultivada (IBGE Cidades, 2023).

Santa Albertina localiza-se na região de clima tropical, designado como Aw na classificação de Köppen, caracterizado pela ocorrência de inverno seco com pluviosidade média menor que 30 mm. A característica geral do clima do município é a existência de duas estações bem definidas: uma estação chuvosa correspondente à primavera/verão (outubro a março) e a estação seca no outono/inverno (abril a setembro). O mês mais chuvoso é janeiro e os meses mais secos são junho, julho e agosto (apresentam as mesmas precipitações), de acordo com Novelli *et al.* (2018).

O Gráfico 1 apresenta os dados de precipitação no período da realização do estudo, no qual foram coletados direto das anotações do proprietário do local, no total a cultura recebeu

879 mm entre o início do mês de outubro de 2022 e o início do mês de fevereiro de 2023. Os dados climáticos durante a condução do experimento em todo o ciclo produtivo encontram-se representados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Precipitação pluviométrica no período do experimento. Precipitação pluviométrica obtidas no Sítio Santa Luzia de Santa Albertina, SP, no período de outubro/2022 a fevereiro/2023 durante a execução do experimento



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Antes da instalação do experimento, procedeu-se à caracterização química do solo com o objetivo de avaliar sua fertilidade, conforme descrito (Tabela 1), utilizando os métodos propostos por Raij *et al.* (2001). Foram coletadas 20 amostras de solo com estrutura deformada, utilizando-se um trado, na camada de 0,00-0,20 m. Após a análise dos resultados, foram realizadas as correções necessárias para otimizar a fertilidade do solo e efetuar-se o cálculo da adubação adequada recomendada para a cultura do Sorgo.

Tabela 1 – Caracterização química da área, Santa Albertina, 2023

Pontos	M.O. (g/dm ³)	Ph	P (mg/dm ³)	K Ca Mg S.B. H+Al CTC (mmol _c /dm ³)						V (%)	K/CTC (%)	Mg/CTC (%)
				K	Ca	Mg	S.B.	H+Al	CTC			
A1 - A5	13	5,6	23	1,9	21	15	37,9	18	55,9	68	3,4	26,8
A6 - A10	14	5,1	22	1,3	21	14	36,3	22	58,3	62	2,2	24,0
B1 - B5	12	5,6	25	0,9	19	13	32,9	16	48,9	67	1,8	26,6
B6 - B10	13	5,6	26	1,0	21	16	38,0	18	56,0	68	1,8	28,6

Fonte: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira - SP (UNESP, 2023).

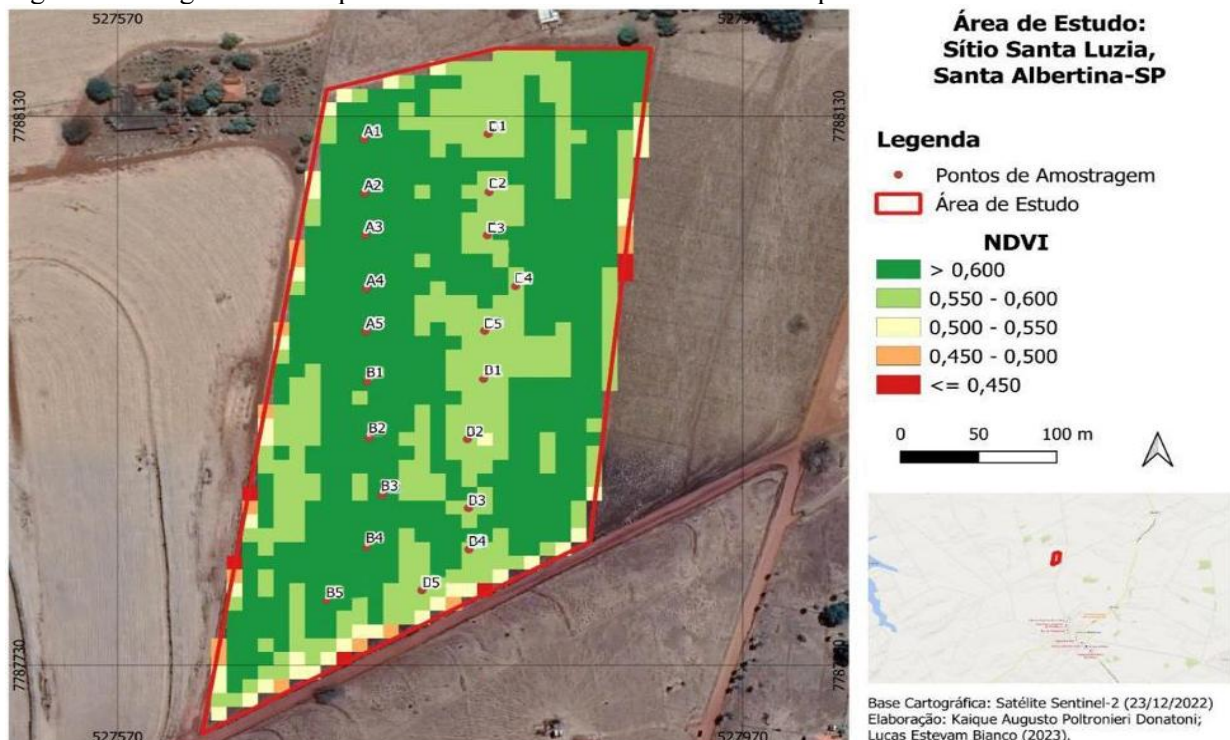
Dados espectrais: utilizaram-se imagens de satélite Sentinel-2, especificamente, bandas 04 RED (vermelho 600-700 nm) e 08 NIR (infravermelho próximo 700-1.300 nm). As imagens são compostas por 4 bandas (vermelho, verde, azul e infravermelho). Considerando que os

pixels obtidos foram através de download gratuito no endereço eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov>, são georreferenciadas, possuem resolução espaciais de 10 metros (RGB+NIR) e resolução temporal de 5 dias.

O Coeficiente de Variação - CV dos pixels em uma área de produtividade baseada no NDVI constitui uma métrica eficaz para avaliar a variabilidade dos valores de NDVI dentro dessa região. Tal medida permite inferir o grau de homogeneidade ou heterogeneidade da cobertura vegetal. Valores baixos de CV indicam que os índices de NDVI entre os pixels são semelhantes, o que sugere uma vegetação uniforme. Por outro lado, um CV elevado revela diferenças expressivas nos valores de NDVI, apontando para uma vegetação mais heterogênea. A análise da variabilidade do NDVI permite estimar o potencial produtivo da área e identificar regiões com maior capacidade de produção.

Neste estudo, foram utilizados dados obtidos pelo satélite Sentinel-2, referentes ao dia 23 de dezembro de 2022, período em que a cultura do sorgo se encontrava no estágio fenológico VT (pendoamento), com o objetivo de avaliar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em 20 pontos de amostragem. A Figura 1 apresenta a representação visual desses pontos, devidamente identificados, juntamente com suas respectivas proporções.

Figura 1 – Imagem NDVI a pontando as coordenadas exatas de cada ponto



Fonte: Dos próprios autores através do QGIS, 2023.

A análise da imagem evidencia que os tratamentos A e B apresentaram valores mais elevados de NDVI em comparação aos tratamentos C e D. Essa diferença é perceptível por meio das variações nas tonalidades de cores na representação do índice. As áreas correspondentes aos tratamentos A e B demonstraram coloração mais intensa, indicando maior proporção de vegetação saudável.

Por outro lado, as áreas associadas aos tratamentos C e D exibiram tonalidades mais tênues, sugerindo menor proporção de vegetação saudável. Esses resultados indicam que os tratamentos C e D possivelmente foram menos eficazes na promoção do desenvolvimento vegetativo, em relação aos tratamentos A e B.

A análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI possibilita a visualização do vigor da biomassa, refletindo a densidade da vegetação, por meio da variação das tonalidades de cor, as quais indicam diferenças na população de plantas na área de cultivo em estágio de desenvolvimento vegetativo. Valores elevados de NDVI manifestam-se em tonalidades mais intensas, sugerindo maior biomassa e vigor vegetativo, características associadas a condições de manejo mais adequadas.

Em contrapartida, regiões com baixos valores de NDVI são representadas por tonalidades mais avermelhadas, indicando redução da biomassa, possivelmente, decorrente de fatores adversos como deficiência nutricional, ataques de pragas, entre outros estresses bióticos e abióticos. Dessa forma, a utilização de imagens NDVI proporciona uma visualização mais precisa das variações no vigor vegetativo, facilitando a identificação de áreas que demandam intervenção.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado (DIC), possuindo 4 tratamentos, com 5 repetições, em uma área experimental de 90.000 m², possuindo 2 talhões. Cada amostra experimental consistiu de duas linhas de sorgo, cada uma medindo 1 metro de comprimento, com um espaçamento de 0,80 m, resultando em uma área da parcela de 1,0 m x 2,0 m, totalizando 2 m². O sorgo Volumax foi semeado no dia 22 de outubro de 2022, sendo a colheita iniciada no dia 09 de fevereiro de 2023, planta de excelente sanidade e qualidade de colmo, com perfeita massa verde e produção de grãos, plantio realizado com plantadeira de 4 linhas de forma convencional, com uma aração para o tombamento e duas gradagem para o destorroamento. O fator avaliado foi comparar o vigor da imagem NDVI (Figura 1) com as fases fenológica do sorgo, observando seu comportamento, visando à variabilidade da produtividade dos talhões.

O Sorgo Volumax é uma variedade de sorgo desenvolvida pela empresa Agroceres, uma das principais empresas de pesquisa e desenvolvimento de sementes e produtos agrícolas no Brasil. Ela é conhecida por desenvolver e comercializar sementes de alta qualidade para várias culturas, incluindo milho, soja, sorgo, entre outras. O sorgo é uma planta gramínea amplamente cultivada em várias regiões do mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, devido à sua adaptação a condições de clima mais seco e altas temperaturas.

Essa variedade foi selecionada e aprimorada com o objetivo de melhorar o rendimento e aumentar a quantidade de grãos por unidade de área. Além disso, o Sorgo Volumax também pode ser utilizado em sistemas agrícolas de rotação de culturas, ajudando a melhorar a fertilidade do solo e a tolerar o impacto de pragas e doenças, o que contribui para a sustentabilidade do sistema de produção agrícola.

Foram executados os procedimentos de tratos culturais desde a calagem até o controle de plantas daninhas e pragas, seguindo as práticas recomendadas para a cultura. Isso incluiu todas as etapas, desde o plantio até o manejo adequado das condições ambientais e sanitárias das plantas. Na calagem, foi empregado gesso agrícola na quantidade de 555 Kg/ha⁻¹, conforme as recomendações estabelecidas. Para o controle de plantas daninhas, foi utilizado o cultivador de solo 20 dias após o plantio. No que diz respeito ao controle de pragas, especificamente a Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foram aplicados cinco vezes produtos inseticidas. Utilizou-se o inseticida Lannate na dose de 1 L do p.c ha⁻¹ e o inseticida fisiológico Certero na dose de 0,200 L do p.c ha⁻¹. Nas 6^a e 7^a aplicações, utilizou-se o Inseticida sistêmico de contato e ingestão Engeo Pleno, no controle do Pulgão (*Melanaphis sacchari*) na dose de 0,230 L do p.c ha⁻¹ + Fertilizante Organomineral Foliar na dose de 0,380 L do p.c ha⁻¹. Todos esses produtos foram manipulados utilizando um pulverizador com capacidade de 600 litros, equipado com um bico do tipo cone cheio, que apresenta uma vazão de 233 litros por hectare.

A dose do adubo de plantio e cobertura aplicada seguiu a recomendação do boletim técnico 100, com o objetivo de alcançar a maior produtividade esperada. Para a adubação de base, foi utilizada a fonte convencional formulada 04-30-10 na dose de 300 kg/ha⁻¹. A cobertura, por sua vez, foi realizada com o concentrado 20-05-20 na dose de 250 kg/ha⁻¹, aplicada em uma dose única quando a cultura apresentou seis folhas totalmente expandidas, no estágio V6 (Carvalho; Raij, 1997).

2.1 Avaliações biométricas

A altura de plantas (AP) foi determinada por meio da medição da distância (m), entre o nível do solo e o ponto mais alto da panícula do Sorgo. Essa medição foi realizada utilizando uma trena de 4 metros, garantindo a precisão necessária para obter os valores corretos de altura das plantas. O procedimento consistiu em posicionar a trena verticalmente, com o zero no nível do solo, e estendê-la até o ápice da panícula do Sorgo, obtendo assim a medida da altura da planta. Essa avaliação é relevante para compreender o desenvolvimento vertical da cultura e auxiliar na análise de diferentes tratamentos.

O diâmetro basal do colmo (DC) foi obtido por meio da medição com um paquímetro manual, com precisão de milímetros. O ponto de referência para essa medição foi o segundo entrenó da planta de sorgo. O procedimento envolveu posicionar cuidadosamente o paquímetro ao redor do colmo da planta, na altura do segundo entrenó, e registrar o valor da medida com a máxima segurança possível. Essa avaliação é relevante para a caracterização do porte e robustez das plantas, certamente para a compreensão do seu desenvolvimento estrutural e do impacto de diferentes fatores no crescimento da cultura. A precisão do paquímetro utilizado garante a obtenção de resultados aguardados e representativos das dimensões do colmo da planta de sorgo em estudo.

O estande da planta (Estande) foi estabelecido em um espaçamento de 2 m⁻¹. Para realizar essa medição, utilizou-se uma trena de 4 metros posicionada no nível do solo. Essa avaliação permitiu a contagem precisa do número de plantas presentes em um metro linear do campo experimental. Tal procedimento é relevante para analisar o padrão de distribuição das plantas, a taxa de germinação e o estabelecimento adequado da cultura, fornecendo informações importantes para a compreensão do desenvolvimento populacional das plantas estudadas. A precisão da trena utilizada garantiu a confiabilidade dos resultados obtidos.

O peso bruto da planta sem a panícula - PBSP foi obtido por meio da pesagem da planta inteira de sorgo, excluindo-se a panícula. Esse procedimento foi realizado utilizando uma balança de precisão, com uma margem de medição de 0,01g. A análise envolveu a coleta de todas as partes da planta, exceto a estrutura da panícula, visando obter o peso total da vegetação vegetativa. O PBSP é um parâmetro relevante para a avaliação do desenvolvimento vegetativo da cultura, uma vez que permite a quantificação precisa da biomassa vegetal, excluída a parte reprodutiva representada pela panícula. Essa análise é útil para compreender o crescimento e o

acúmulo de biomassa nas diferentes fases do ciclo da cultura do sorgo, para o monitoramento e a caracterização do desenvolvimento vegetativo da planta.

O comprimento da panícula - CP foi medido considerando a distância entre o ápice e a base da estrutura da panícula do sorgo. Para realizar essa medição, utilizou-se uma trena, garantindo a precisão necessária para obter os valores corretos do comprimento da panícula. A formação do CP é de grande importância para avaliar o desenvolvimento reprodutivo da planta de sorgo, sua análise permite identificar variações no crescimento da panícula entre diferentes tratamentos. O comprimento da panícula está diretamente relacionado ao potencial de produção de grãos e, portanto, é uma medida relevante para estimar a produtividade da cultura.

O Diâmetro do colmo da panícula - DCP foi determinado utilizando um paquímetro manual com escala milimétrica. O paquímetro foi cuidadosamente posicionado perpendicularmente ao eixo do colmo da panícula e a medida foi tomada no ponto mais largo do diâmetro. A análise do diâmetro do colmo da panícula é importante para entender o desenvolvimento reprodutivo da planta. O DCP é essencial para avaliar a robustez estrutural da panícula e pode fornecer informações relevantes sobre a qualidade e o potencial produtivo da cultura de sorgo. O diâmetro do colmo da panícula está diretamente associado à capacidade de sustentação dos grãos e pode influenciar na resistência a intempéries e na eficiência de transporte de nutrientes.

O peso bruto da panícula - PBP com semente foi obtido por meio da pesagem individual de cada panícula de sorgo proveniente das cinco plantas da unidade experimental. Esse procedimento de pesagem foi realizado utilizando uma balança de precisão digital com margem de 0,01g para garantir a precisão necessária na medição. A obtenção do PBP através da pesagem individual de cada panícula permite uma avaliação mais precisa da variabilidade entre as plantas da unidade experimental e a análise da distribuição dos grãos. Portanto, o peso bruto da panícula com semente é um indicativo direto das produtividades esperadas da cultura de sorgo em estudo.

Após a coleta da massa fresca, os materiais foram triturados utilizando uma colhedora de forragem modelo JF C120, garantindo um corte uniforme e obtendo forragem especializada. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel (saco de pão) e transportadas para o laboratório do Centro Universitário de Santa Fé do Sul - Unifunec. No laboratório, procedeu-se o registro dos pesos da massa fresca do colmo, da panícula e da planta inteira, utilizando uma balança de precisão digital (0,01g). Após essa etapa, as amostras foram levadas

para secagem em estufa com ventilação de ar forçado, mantendo uma temperatura de 65°C por um período de 72 horas, até alcançar a massa seca de ambos os componentes analisados.

Com o propósito de estabelecer a relação entre a massa fresca e a massa seca da planta e determinada a massa de 100 grãos (M100), foi associado em uma balança de precisão com uma margem de 0,01g, considerando 13% de umidade (base úmida, b.u.). Essas medidas e procedimentos foram adotados para garantir a precisão e consistência dos resultados, garantindo a uniformidade nas etapas de processamento da amostra e obtenção das massas frescas e secas com confiabilidade para análise posterior.

Com base nos dados obtidos, procedeu-se à determinação da produtividade (PROD) por meio da coleta das panículas de sorgo presentes em 2 metros das 2 linhas de cada parcela. Posteriormente, os grãos foram trilhados, quantificados e os resultados foram expressos em kg/ha⁻¹, considerando base úmida a 13%.

Para a análise estatística, foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 5 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). As médias dos atributos avaliados, por efeito dos tratamentos (A, B, C, D), foram comparadas pelo teste de “Tukey”. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para resultados encontrados e avaliação de correlação entre os dados da produtividade com os valores de NDVI da propriedade, foi adotado o modelo de regressão quadrática, através do software Sisvar.

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, onde os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maior quantidade de vegetação fotossintética ativa, enquanto os menores valores representam áreas com menor vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2009).

O presente experimento executado e as análises estatísticas realizadas, tiveram o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes tratamentos (A, B, C e D) sobre o estande (ESTAND) de plantas por metros lineares. A análise estatística empregou o Teste F de Tukey para identificar eventuais diferenças significativas entre os tratamentos em estudo.

Tabela 2 - Comprimento da planta com pendão (COMP_PL); Comprimento colmo segundo nó (COMP_C); Estande de plantas (ESTAND); Comprimento do pendão (COMP_PEND); Diâmetro do colmo – pendão (DIAM)

TRAT	COMP_PL (m)	COMP_C (cm)	ESTAND (m ⁻¹)	COMP_PEND (cm)	DIAM (cm)
A	3,01 a	1,98 a	31,60 a	28,48 a	0,95 a
B	3,00 a	2,13 a	30,00 a	29,80 a	0,97 a
C	3,02 a	2,36 a	17,40 b	28,68 a	0,95 a
D	3,10 a	2,36 a	17,00 b	29,28 a	1,02 a
Teste F	0,83 ^{ns}	2,43 ^{ns}	11,23 ^{**}	1,90 ^{ns}	0,90 ^{ns}
CV	3,58	12,03	21,91	3,34	7,94
DMS	0,2	0,48	9,52	1,76	0,14

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo ($p < 0,01$); ns: Não significativo; CV (%): Coeficiente de variação; DMS (diferença mínima significativa).

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Inicialmente, concentramos nossa atenção na comparação entre o tratamento de referência, representado pelo estande (ESTAND) tomando um ponto de referência e os tratamentos A e B com os tratamentos C e D (Tabela 2). Observamos uma variação notável nos valores obtidos, sugerindo a existência de uma diferença significativa entre esses tratamentos. A aplicação do "Teste F de Tukey" confirmou a diferença de 11,23^{**}, com a diferença significância estatística estabelecida em 1%. Notavelmente, os tratamentos A e B apresentaram uma quantidade superior de plantas por metros lineares em comparação com o tratamento de referência (tratamentos C e D).

Nos resultados obtidos nas demais avaliações, não foram observadas diferenças significativas nos valores, indicando que as variações observadas nesses tratamentos não puderam ser consideradas estatisticamente relevantes.

Através da aplicação do Teste F de Tukey, buscamos identificar diferenças significativas entre as variáveis em estudo (Tabela 3).

Tabela 3 - Peso bruto sem o pendão (PESO_SP); Peso d/ colmo com semente massa verde (PESO_MV); Triturada massa verde (TRIT_MV); Triturada massa seca (TRIT_MS); Massa seca do colmo (MS_COLMO); Massa de 100 grãos (M_100)

TRAT	PESO_SP	PESO_MV	TRIT_MV	TRIT_MS	MS_COLMO	M_100	PROD
	-----(g)-----						kg ha ⁻¹
A	461,52 a	60,92 a	199,80 b	73,36 b	27,52 a	1,69 a	83,37 a
B	541,44 a	66,56 a	197,92 b	83,04 a	27,76 a	1,53 a	88,03 a
C	617,64 a	72,32 a	213,04 a	66,12 b	31,12 a	1,41 a	61,49 a
D	641,32 a	75,20 a	208,52 a	66,28 b	33,36 a	1,69 a	60,61 a
Teste F	2,67 ^{ns}	1,48 ^{ns}	19,40 ^{**}	11,50 ^{**}	1,21 ^{ns}	1,00 ^{ns}	4,19 ^{ns}
CV	19,67	16,93	1,78	7,25	19,1	19,23	21,38
DMS	201,32	21,06	6,58	9,52	10,35	0,55	28,39

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo ($p < 0,01$); ns: Não significativo; CV (%): Coeficiente de variação; DMS (diferença mínima significativa).

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Na Tabela 3, foram registradas as observações referentes a duas variáveis específicas: triturada massa verde (TRIT_MV) e triturada massa seca (TRIT_MS). Ao analisar os resultados, verificamos que ambas as variáveis apresentaram diferenças altamente significativas. A variável TRIT_MV exibiu um valor de 19,40**, enquanto a variável TRIT_MS apresentou um valor de 11,50**. Esses resultados indicam uma diferença estatisticamente significativa com uma significância de 1%, conforme evidenciado pelo teste F de Tukey.

No entanto, quando ampliamos nossa análise para as demais avaliações, não observamos diferenças significativas nos valores obtidos. O teste F de Tukey não revelou variações estatisticamente relevantes nessas avaliações, sugerindo que as diferenças observadas nos dados coletados não puderam ser consideradas estatisticamente significativas.

Esses achados ressaltam a importância de uma abordagem estatística rigorosa na interpretação de resultados de experimentos científicos. Enquanto algumas variáveis demonstraram uma clara diferença estatística com base nos testes aplicados, outras variações não puderam ser consideradas estatisticamente relevantes. Essa análise criteriosa é crucial para a compreensão precisa dos efeitos das variáveis em estudo e para embasar conclusões sólidas e confiáveis.

Realizamos uma análise dos dados coletados, com foco no teor de matéria seca de volume em diferentes tratamentos. Os resultados são apresentados na Tabela 4 e revelam variações significativas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 4 - Teor de matéria seca e a produção de forragem por metro linear

Tratamentos	Teor De Matéria Seca (%)	Produção De Forragem Metros Linear
A	78,75	4,17
B	85,14	4,40
C	69,29	3,70
D	71,51	3,03

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Especificamente, observamos que o tratamento B se destacou, apresentando um teor de matéria seca de volume de 85,14%. Essa proporção é acompanhada por uma densidade de 4,40 m⁻¹. Esse resultado indica que o tratamento B exibiu o valor mais elevado de teor de matéria seca em relação aos outros tratamentos investigados.

Em contraste, o tratamento C mostrou um valor inferior de teor de matéria seca de volume, registrando 69,29%. A densidade correspondente para este tratamento foi de 3,70 m⁻¹. Esse valor mais baixo sugere que o tratamento C teve uma menor quantidade de matéria seca em comparação com os demais tratamentos avaliados.

Esses resultados ressaltam a importância da seleção adequada de tratamentos e das condições experimentais na obtenção de teores de matéria seca de volume desejáveis. A compreensão das variações entre os tratamentos B e C contribui para direcionar futuros esforços de pesquisa e práticas agrícolas, buscando otimizar os teores de matéria seca de volume para benefícios específicos dentro do contexto do estudo.

Ao longo do experimento realizado, foi possível observar a produtividade alcançada, conforme resumido na Tabela 5. Os resultados obtidos evidenciam diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 5 - Produtividade da silagem em t/ha⁻¹

Tratamentos	Produtividade (T/ ha ⁻¹)
A	83,38
B	88,03
C	61,49
D	60,61

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Especificamente, identificamos uma produtividade significativamente alta no tratamento B, atingindo 88,03 toneladas por hectare (t/ ha⁻¹) de silagem. Este resultado indica que o tratamento B foi particularmente eficaz em maximizar a produção.

Por outro lado, observamos uma queda na produtividade no tratamento D, registrando um valor de 60,61 t/ ha⁻¹. Essa diminuição na produtividade sugere que o tratamento D não foi tão eficiente em termos de produção de silagem em comparação com outros tratamentos.

A interpretação desses dados auxilia na realização de um manejo agrícola mais uniforme e eficiente, permitindo a aplicação direcionada de defensivos agrícolas ou de nutrientes específicos, promovendo assim a melhoria do desenvolvimento das culturas.

Essa análise baseada nos dados do NDVI destaca a importância da utilização de tecnologias de sensoriamento remoto para avaliar o desempenho dos tratamentos em relação ao crescimento vegetativo, juntamente com os dados das amostragens geradas em laboratórios e os dados estatísticos concretos (exatos). Os resultados obtidos reforçam a ideia de que os tratamentos A e B tiveram, visualmente, um impacto mais positivo na vegetação, enquanto os tratamentos C e D apresentaram uma queda na proporção de vegetação saudável. Esses insights (descobertas) são fundamentais para orientar futuras decisões de manejo agrícola e otimização dos tratamentos.

Isso indica que o NDVI pode ser utilizado como um indicador confiável para prever a produtividade do sorgo. Além disso, a relação entre os valores dos tratamentos aplicados na área experimental e a produtividade da silagem foi analisada. Verificou-se que os valores do NDVI estavam diretamente relacionados à produtividade da silagem, permitindo a definição de classes de limites críticos de NDVI que podem ser utilizadas como referência para tomada de decisão e manejo da produção agrícola.

Os resultados obtidos demonstraram uma correlação significativa entre o NDVI e a estimativa de produtividade do sorgo safra. Isso indica que o NDVI pode ser utilizado como um indicador confiável para prever a produtividade dessa cultura. Quanto maior o valor do NDVI, maior tende a ser a produtividade do sorgo.

4 CONCLUSÃO

O tratamento B apresentou desempenho superior, com destaque para a alta produtividade e teor de matéria seca de 85,14%. O sorgo, amplamente cultivado para forragem animal, teve sua produtividade correlacionada de forma significativa aos valores de NDVI. A análise combinada de dados de sensoriamento remoto e amostragens laboratoriais confirmou que os tratamentos A e B promoveram maior vigor vegetativo em comparação aos tratamentos C e D.

Os resultados obtidos evidenciam que a definição de faixas críticas de NDVI pode ser utilizada para estimar níveis de produtividade e identificar áreas com potencial diferenciado, possibilitando a adoção de práticas de manejo específicas conforme as necessidades da cultura.

Assim, este estudo comprova a eficiência do NDVI como ferramenta de agricultura de precisão, recomendando sua incorporação rotineira ao monitoramento do sorgo forrageiro. A aplicação de tecnologias de sensoriamento remoto contribui significativamente para o aumento da eficiência produtiva e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

REFERÊNCIAS

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. de A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Ribeirãozinho, Município de Selvíria – MS. **Revista Percurso**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/49650>.

BUSO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; SILVA, L. B.; FRANÇA, A. F. de S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, v. 5, n. 23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v5n23.1145>.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. V. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v. 192, n.1, p. 32-48, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1004285113189>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos – Safra 2016/2017**, Primeiro levantamento Outubro/2016. Monitoramento Agrícola – Safra 2016/17. Brasília: Conab Brasília, v. 4, n. 1, p. 1-164, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/produtor-brasileiro-esta-otimista-com-nova-safra-de-graos-diz-secretario-de-politica-agricola/2.pdf>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 8, 8º levantamento, 115 p. 2021. Disponível em: https://antigo.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/45072_cef157c9632252b5ee63382adbb3fce.

COSTA, N. R. *et al.* Custo da produção de silagens em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 9-19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010002>.

FERNANDES, P. B. *et al.* Aspectos relacionados ao potencial forrageiro do sorgo: revisão. **PUBVET**, v. 14, n. 7, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n7a603.1-7>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: FUNEP, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2023. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?edicao=40950>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2023. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santa-albertina/panorama>.

JINDO, K. *et al.* Potential utilization of satellite remote sensing for field-based agricultural studies. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 58, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00253-4>.

MULLA, D. J. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358–371, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.

NOVELLI, V. *et al.* **Plano Municipal De Desenvolvimento Rural Sustentável**. Município De Santa Albertina, 2018. Disponível em:
https://www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/506_12_12_2014_PMDRS%20%20Santa%20Albertina%202015-2018.doc.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y, E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos. Editora Parêntese, 2009. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=pEHGCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=Sensoriamento+remoto+no+estudo+da+vegeta%C3%A7%C3%A3o&ots=Pw5xTYhJl1&sig=3fJAfhev5BqXuzOAZxL4cAPvvQE#v=onepage&q=Sensoriamento%20remoto%20no%20estudo%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o&f=false>.

RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo. Campinas, p. 285, 2001. Disponível em:
https://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf.

RAMOS, M. C. A. **Estimativa de Produtividade de cana-de-açúcar por meio de imagens do satélite Landsat-5/ TM em áreas de pivôs centrais na região de Jaíba - MG**. 2013. 59 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2013.

REZENDE, R. P. de. *et al.* Does intercropping maize with forage sorghum effect biomass yield, silage bromatological quality and economic viability? **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e46942818, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2818>.

RIBAS, M. N. **Avaliação agrônômica e nutricional de híbridos de sorgo com Capim-sudão, normais e mutantes BMR: Portadores de nervura marrom**. 2010. 140 f. Tese (Doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/31792>.

RODRIGUES FILHO, O. *et al.* Produção e Composição Bromatológica de Quatro Híbridos de Sorgo Forrageiro [*Sorghum Bicolor (L.) Moench*] submetidos a três doses de Nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 37–48, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/cab.v7i1.389>.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A. Sensoriamento Remoto Aplicado a Agricultura, Capítulo 9. 2002, INPE, São José dos Campos. INPE-8984-PUD/62. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.14/doc/CAP9_MAMoreira.pdf.

ROSA, V. G. C. da. *et al.* Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.12, p.1478-1488, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105570/1/Estimativa.pdf>.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. Época de plantio de sorgo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2003. 4 p. Comunicado Técnico, 80. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/487523>.

SHIRATSUCHI, L. S. *et al.* Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. Brasília: **Embrapa**, Cap. 4, p. 58-73, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1001965/1/4218.pdf>.

SOARES, J.V.; BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Histórico e descrição. *In*: RUDORFF, F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 1-22.

TIRITAN, C. S. *et al.* Bromatological composition of sorghum, millet plant and midgetguandu at different cut times in intercropping and monoculture. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 2, p. 183–190, abr. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i2.15772>.

TOLENTINO, D. C. *et al.* The quality of silage of different sorghum genotypes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, n. 2, p. 143-149, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i2.29030>.

UNESP. Laboratório de Fertilidade do solo. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, IAC, Ilha Solteira – SP, 2023. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/fitossanidade-engenharia-rural-e-solos/laboratorios/fertilidade-do-solo/>

VIANA, A. F. P. *et al.* Pastures of millet or sorghum forage for steers in the growth phase. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e069108377, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8377>.

WEISS, M.; JACOB, F.; DUVEILLER, G. Remote sensing for agricultural applications: a meta-review. **Remote Sensing of Environment**, v. 236, 111402, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.