



Universidade Federal de Sergipe
Campus do Sertão
Departamento de Engenharia Agrônômica do Sertão



ADRIELLY DE ANDRADE MENEZES

**ESTIMATIVA DE PORCENTAGEM DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS POR
MEIO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso

Fevereiro de 2026

Nossa Senhora da Glória/SE

Fevereiro de 2026

ADRIELLY DE ANDRADE MENEZES

**ESTIMATIVA DE PORCENTAGEM DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS POR MEIO
DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de
Sergipe, como requisito parcial à obtenção do título
de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Jose Jairo Florentino Cordeiro Junior

Nossa Senhora da Glória/SE
Fevereiro de 2026

ADRIELLY DE ANDRADE MENEZES

ESTIMATIVA DE PORCENTAGEM DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS POR MEIO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS

Este documento foi julgado adequado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 03/02/2026

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JOSE JAIR FLORENTINO CORDEIRO JUNIOR
Data: 20/02/2026 11:51:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jose Jairo Florentino Cordeiro Junior
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO JEAN DA SILVA PAIVA
Data: 20/02/2026 12:55:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Jean da Silva Paiva
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 NAILSON LIMA SANTOS LEMOS
Data: 20/02/2026 12:29:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nailson Lima Santos Lemos
Universidade Federal de Sergipe

Nossa Senhora da Glória/SE
Fevereiro de 2026

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de começar agradecendo a Deus por toda saúde, força e coragem que Ele me concedeu para enfrentar e concluir estes cinco anos de graduação. Sem Ele, eu não teria chegado até aqui.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, que me ensinaram tudo o que sou hoje. À minha mãe, Adriana, que me ensinou a ser uma mulher forte, guerreira e de caráter, assim como ela. Ao meu pai, Jailson, que me ensinou a trabalhar com o que gosto, a nunca depender de ninguém e a importância da família. Obrigada por abrirem mão de tantas coisas pelo meu estudo e por me ensinarem o verdadeiro significado do amor incondicional de pais presentes. Me orgulho de chamar vocês de pais.

Ao meu irmão, Ayslan, que me ensinou o que é paciência, amor, amizade e proteção entre irmãos.

Ao meu companheiro, Lucas, que desde o dia em que nos conhecemos me apoiou e me deu forças para chegar até aqui. Obrigada por todo apoio incondicional, carinho, paciência e companheirismo.

Aos meus padrinhos e avós paternos, Bernadete e José Paixão (*in memoriam*), e aos meus avós maternos, Maria e Pedro (*in memoriam*), levo sempre vocês comigo.

À Gabi, obrigada por todos esses anos de amizade e parceria desde o ensino fundamental. Sem você não saberia o que é amizade verdadeira.

A toda minha família, amigos, colegas de faculdade e professores da UFS- Campus do Sertão.

Em especial, ao meu orientador, Jairo Cordeiro, obrigada por todos esses anos de ensinamentos, apoio e dedicação à minha formação. Obrigada por ser professor, orientador, amigo e um pai dentro da universidade.

Por fim, agradeço à banca avaliadora pelo tempo, dedicação e contribuições ao meu projeto e à minha formação como profissional e como pessoa.

Sem todos vocês, eu não estaria aqui e não seria quem sou hoje.

Nossa Senhora da Glória/SE

Fevereiro de 2026

ESTIMATIVA DE PORCENTAGEM DE MATÉRIA SECA DE GRAMÍNEAS POR MEIO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS

Resumo

As forragens constituem o principal alimento dos ruminantes, tornando indispensável o manejo eficiente da produção forrageira. Com isso, a estimativa da biomassa de pastagens é de suma importância, especialmente no Semiárido brasileiro, onde a criação desses animais é predominantemente em sistemas de pastejo. Nesse contexto, objetivou-se estimar a produção de biomassa de gramíneas dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* por meio de diferentes índices de vegetação obtidos de imagens aéreas coletadas através de veículo aéreo não tripulado em diferentes alturas de voo. O estudo foi realizado em área experimental da Embrapa Semiárido, no município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe. Foram avaliadas seis cultivares de gramíneas do gênero *Panicum* e oito cultivares do gênero *Brachiaria*. Foram extraídos 10 índices de vegetação (GLI, NGRDI, NPCI, VARI, MCARI, TCARI, NDVI, SAVI, CLGREEN e CIRE) de cada espécie para cada gênero, por meio das imagens obtidas por drone, os quais foram correlacionados com dados de matéria seca das forragens obtidas em campo. Os dados foram analisados por meio do coeficiente de determinação e do coeficiente de correlação. Para as gramíneas do gênero *Panicum*, os valores do coeficiente de determinação variaram de 0,82 a 0,99 e os valores do coeficiente de correlação entre 0,91 e 0,99, apresentando melhor desempenho nos voos a 60 m de altura. Já para o gênero *Brachiaria*, os valores do coeficiente de determinação variaram de 0,90 a 1,00 e os valores do coeficiente de correlação entre 0,95 a 1,00, demonstrando melhor resultado nos voos de 60 m. Diante disso, os modelos desenvolvidos no presente projeto representam uma ferramenta importante para o monitoramento e a gestão eficiente das pastagens.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; geotecnologia; semiárido sergipano, forragicultura.

Sumário

1.	Introdução.....	6
2.	Objetivos	7
2.1	Objetivo geral.....	7
2.2	Objetivos específicos.....	7
3.	Revisão de literatura	8
3.1	Pastagens	8
3.2	Sensoriamento remoto em pastagens	8
3.3	Índices de vegetação.....	9
4.	Metodologia.....	10
4.1	Caracterização da área e manejo	10
4.2	Plano de voo e processamento das imagens	11
4.3	Obtenção de dados da cultura no campo	13
4.4	Análise dos dados e análise estatística	13
5.	Resultados e discussão	15
6.	Conclusões.....	28
7.	Referências bibliográficas.....	28

1. Introdução

As pastagens consistem em plantas forrageiras herbáceas, geralmente de ciclo anual destinadas à alimentação de herbívoros, como ruminantes, bovinos, ovinos e caprinos, ou seja, são plantas forrageiras, mais conhecidas como gramíneas, destinadas à alimentação de animais por meio do pastejo. O modo de utilização dessas áreas (seja por corte ou pastejo) influencia diversas características, incluindo o porte das plantas, a intensidade e duração do ciclo produtivo, bem como a fertilização e a densidade das plantas (Moreira, 2002). Além disso, elas também protegem o solo contra erosão, favorecem a ciclagem de nutrientes, contribuem para a redução da emissão de gases do efeito estufa e auxiliam no combate à desertificação (Freixial e Barros, 2012).

Para que as pastagens expressem seu máximo potencial produtivo e econômico, é essencial a adoção de práticas adequadas de manejo. Segundo Alves et al. (2014), os principais manejos incluem a escolha da cultivar forrageira adequada à região, a adubação nitrogenada e a definição da altura ideal do pasto, além do controle de pragas, doenças e plantas invasoras na área de implantação (Dias Filho, 2017).

O manejo de pastejo baseia-se na interação entre o solo-planta-animal, necessitando de equilíbrio entre esses componentes para que se alcance alta produtividade aliada à sustentabilidade. A escolha adequada da espécie forrageira é fundamental, uma vez que cada uma delas apresenta características agrônômicas próprias, no qual se adequa de forma distintas às condições climáticas, topográficas, à fertilidade e as características físicas do solo (Azevedo, 2018).

Entre as principais forrageiras utilizadas no Brasil, destacam-se as gramíneas dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*. As espécies do gênero *Panicum* apresentam adaptações morfológicas e fisiológicas que lhes permitem prosperar em diversas condições ambientais. Por esse motivo, são fundamentais na prevenção da erosão do solo e na conservação da água, contribuindo para a manutenção dos ecossistemas e atuando no enfrentamento das mudanças climáticas e da pressão antropogênica (Bessa, 2025). Além disso, destacam-se pelo elevado potencial de produção de matéria seca por unidade de área, o que reforça sua importância na alimentação animal (Souza, 2021).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* também apresentam grande destaque, pela sua adaptação em diversos tipos de solos brasileiros, bem como pela alta produção de matéria seca e pelo valor nutricional de sua forragem (Castro et al., 2014). Adicionalmente, possuem características essenciais para utilização como forragem, como elevada resistência ao estresse

hídrico, grande capacidade de rebrota e alta adaptabilidade a resistências a estresses ambientais (Duarte et al., 2019).

O uso de tecnologias e softwares dentro da agropecuária tem auxiliado os produtores na tomada de decisão e no gerenciamento do manejo das pastagens. Nesse contexto, os drones destacam-se como uma alternativa eficiente para obtenção de dados aéreos de alta resolução, com captura de imagens no espectro visível e de fácil uso. As imagens geradas por esse equipamento possibilitam o estudo e análise de índices de vegetação, os quais são fundamentais para o monitoramento das etapas de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Pode destacar a importância de se analisar a estimativa de biomassa de gramíneas por diferentes índices de vegetação no Semiárido Sergipano, pois permite monitorar as pastagens de forma precisa e eficiente por meio de sensores multiespectrais, o que facilita o planejamento forrageiro e a escolha do manejo adequado. Com destaque para as gramíneas dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Estimar a produção de biomassa de gramíneas dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* por meio de diferentes índices de vegetação obtidos de imagens aéreas coletadas através de veículo aéreo não tripulado em diferentes alturas de voo.

2.2 Objetivos específicos

- Correlacionar os dados de biomassa com os índices de vegetação;
- Mensurar os índices GLI (*Green leaf index*), NGRDI (*Normalized green red difference index*), NPCI (*Normalized pigment chlorophyll ratio index*), VARI (*Visible atmospherically resistant index*), MCARI (*Modified chlorophyll absorption reflectance index*), TCARI (*Transformed chlorophyll absorption reflectance index*), NDVI (*Normalized difference vegetation index*), SAVI (*Soil adjusted vegetation index*), CLGREEN (*Chlorophyll index*) e CIRE (*Chlorophyll index-red edge*).

3. Revisão de literatura

3.1 Pastagens

As gramíneas do gênero *Panicum* possuem origem africana, especialmente da região tropical e foram introduzidas no Brasil (Nunes, 2021). Atualmente, são amplamente empregados em sistemas de produção animal devido à sua adaptação a climas tropicais e subtropicais e à elevada produtividade (Garcez et al., 2016).

Pertencentes à família Poaceae, subfamília Panicoideae e tribo Paniceae, as espécies de *Panicum* apresentam grande variabilidade morfológica e fisiológica, são cultivadas em larga escala por sua alta adaptabilidade, elevado potencial de produção de matéria seca e boa aceitação pelos animais (Souza, 2021). Além disso, são exigentes em fertilizantes do solo, demandando adubação e manejo adequado das pastagens (Cecato et al., 2007).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* formam pastagens com ampla capacidade de adaptação a diferentes tipos de solos, desde ambientes úmidos e férteis até áreas com solos de baixa fertilidade e sujeitos à seca. Além disso, destacam-se pela sua elevada produção de matéria seca e pelo seu crescimento bem distribuído ao longo da maior parte do ano, sendo que suas principais espécies apresentam hábitos estoloníferos (Seiffert, 1980).

Nesse sentido, as *Brachiarias* apresentam grande importância nos sistemas de produção pecuária, em razão de sua ampla flexibilidade de uso e manejo, bem como de sua tolerância a diferentes limitações ambientais e condições de uso. Dentre as espécies mais utilizadas, destaca-se a *Brachiaria brizantha*, que é bastante utilizada em áreas de pastagens e em pesquisas relacionadas à produção forrageira (Silva, 2004).

3.2 Sensoriamento remoto em pastagens

O sensoriamento remoto na agricultura vem sendo estudado desde a década de 1970, inicialmente aplicado para estimar áreas plantadas e na produtividade agrícola. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passou a desempenhar papel fundamental no desenvolvimento das geotecnologias e no uso do sensoriamento remoto desde esse mesmo período (Formaggio e Sanches, 2017).

O termo sensoriamento remoto, refere-se à obtenção de informações sobre a superfície terrestre a partir de sensores localizados em aeronaves ou satélites. Esses dados são captados por imagens que são formadas pela combinação das bandas azul, verde e vermelha, capturadas em diferentes comprimentos de onda ou faixas espectrais (Steffen, 2016).

Além disso, o sensoriamento remoto também pode ser compreendido como o uso das interações eletromagnéticas para adquirir informações ambientais. Suas aplicações são amplas, abrangendo o monitoramento atmosférico (temperatura, precipitação, velocidade do vento, concentração de gases), o monitoramento da superfície terrestre (agronomia, geografia, geologia e o uso e cobertura da terra), o monitoramento oceânico (temperatura da superfície do mar, topografia, poluição e concentração de clorofila) e o monitoramento da criosfera (formação e distribuição de gelo, neve e icebergs) (Lorenzzetti, 2015).

Com o avanço tecnológico, o sensoriamento remoto passou a ser amplamente utilizado por meio dos VANTs equipados com sensores multiespectrais, capazes de captar bandas do espectro eletromagnético, como luz visível (RGB), infravermelho próximo (NIR), infravermelho de ondas curtas (SWIR) e ultravioleta (UV) (Freitas, 2021). O uso desses sensores permite o registro simultâneo e independente de um maior número de bandas espectrais, com qualidade radiométrica superior, que proporciona maior eficiência na obtenção de alguns índices de vegetação (Rosalen et al., 2017).

Dessa forma, o sensoriamento remoto baseia-se na captação de diferentes faixas do espectro eletromagnético refletida, absorvida e transmitida pela vegetação, possibilitando a correção dos dados radiométricos das imagens com características biofísicas das plantas (Rosatti, 2006). Nesse sentido, o uso de VANTs (Veículo Aéreo não Tripulado) equipados com sensores multiespectrais permite a obtenção de imagens de alta resolução espacial, viabilizando o cálculo de índices de vegetação e sua relação com a biomassa e o vigor das pastagens (Kuntschik, 2004).

3.3 Índices de vegetação

Entre as diversas aplicações do sensoriamento remoto, destaca-se o uso de imagens derivadas de índices de vegetação, que são modelos numéricos obtidos a partir das assinaturas espectrais da vegetação e apresentam relação direta com a biomassa foliar verde das plantas. Esses índices são algoritmos baseados na transformação dos valores de refletância das imagens, resultando em uma nova imagem em que cada pixel representa um valor do índice. Tais valores podem estar associados a biomassa da vegetação, a extensão de florestas, a porcentagem de cobertura vegetal, a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, a produtividade primária e a produtividade líquida (Kuntschik, 2004).

Os índices de vegetação têm como principal objetivo evidenciar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos presentes na superfície terrestre. Eles foram desenvolvidos para caracterizar e extrair informações sobre a cobertura vegetal

utilizando imagens de sensoriamento remoto. Nesse contexto, torna-se fundamental o uso de ferramentas adequadas para monitorar a vegetação e seus elementos ecossistêmicos, sendo os índices espectrais uma das alternativas mais eficazes e de baixo custo, podendo ser obtidas por meio de drones e imagens de satélite. (Barros et al., 2020).

Existem diversos índices de vegetação, entre eles estão o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), GLI (*Green leaf index*), VARI (*Visible atmospherically resistant index*), entre outros amplamente utilizados na literatura científica. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi desenvolvido para identificar o sinal da vegetação fotossinteticamente ativa em condições de baixa biomassa, sendo recomendado para monitoramento de pastagens e vegetação com dossel contínuo (Kuntschik, 2004).

Os índices NGRD (*Normalized green red difference index*) e NPCI (*Normalized pigment chlorophyll ratio index*), combinam as bandas do visível, obtendo intensidade do verde das folhas, captura do teor de clorofila, vigor vegetativo e entre outros. Os índices SAVI (*Soil adjusted vegetation index*), CLGREEN (*Chlorophyll index*) e CIRE (*Chlorophyll index-red edge*) captam vigor e atividade fotossintética e concentração de clorofila. Já os índices MCARI (*Modified chlorophyll absorption reflectance index*) e TCARI (*Transformed chlorophyll absorption reflectance index*), captam clorofila corrigida, o teor real de clorofila e eficiência fotossintética.

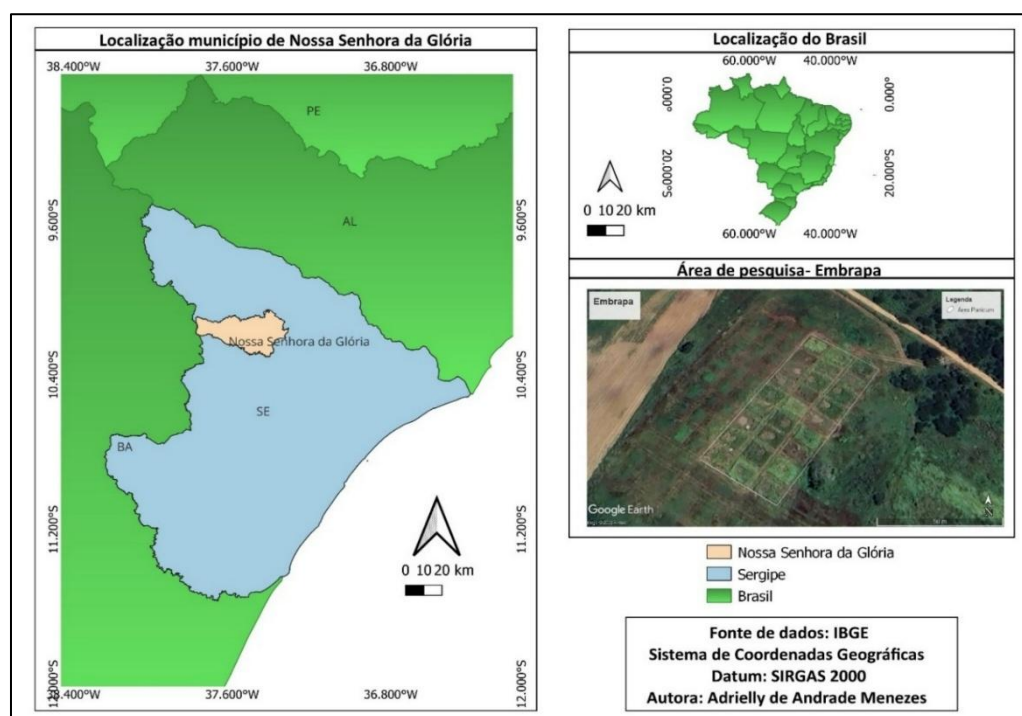
Em um estudo de Damasceno et al. (2020), sobre o uso do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para estimativa do potencial produtivo de forrageiras, observou-se que o NDVI apresentou elevada correlação linear com a biomassa das plantas, mostrando-se um bom indicador de produtividade e do vigor da forragem. Os autores concluíram que o uso de sensores ópticos apresenta grande potencial para a estimativa do potencial produtivo de gramíneas.

4. Metodologia

4.1 Caracterização da área e manejo

A pesquisa foi realizada com dados de uma área experimental localizada na Embrapa-Semiárido (Figura 1), situada no município de Nossa Senhora da Glória no estado de Sergipe no ano agrícola e 2024/2025. Segundo Köppen, o clima predominante na região é do tipo semiárido (As'), com temperatura do ar variando entre 23,0 e 26,2 °C e média anual de 24,8 °C. A precipitação média anual é de 829 mm com período chuvoso situado entre os meses de abril a julho (Alvares et al., 2013).

Figura 1: Mapa de localização do município de Nossa Senhora da Glória e da área experimental na Embrapa- Semiárido.



Fonte: Próprio autor (2025).

A área experimental foi formada no ano de 2019 com área total de 1.8 hectares. As áreas analisadas estavam dispostas em parcelas de 60 m² (6,0 × 10,0 m) com corredores de 4,0 m. Foram avaliadas seis cultivares de gramíneas do gênero *Panicum* (*Panicum maximum* cv. Mombaça, *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Panicum maximum* cv. Massai, *Panicum maximum* cv. Aruana, *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, *Panicum maximum* cv. BRS Quênia) e oito cultivares do gênero *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Brachiaria ruziziensis* cv. Kenedy, *Brachiaria híbrida* cv. Cayana, *Brachiaria híbrida* cv. Sabiá e *Brachiaria híbrida* cv. Mulato 2).

4.2 Plano de voo e processamento das imagens

Para padronizar a captura das imagens, o plano de voo foi realizado no aplicativo DroneDeploy, na área experimental de 18.000 m². Os voos foram realizados nos dias 31 de julho e 21 de agosto de 2024, em duas alturas 60 e 80 m com sobreposição lateral e frontal de 80%.

Foi utilizado o veículo aéreo não tripulado do modelo MAVIC 3M com base RTK, para realizar o levantamento dos dados aéreos de alta precisão sem a necessidade do uso de pontos de controle no solo (Figura 2).

Figura 2: Drone do modelo MAVIC 3M e equipamento RTK utilizados para a obtenção dos dados.



Fonte: kingshobby.com e próprio autor (2024).

O drone utilizado para a obtenção dos dados combina uma câmera RGB de 20 MP com uma câmera multiespectral de 4x5 MP (verde-G, vermelho-R, borda vermelha-RE e infravermelho próximo-NIR). O controle de voo, a câmera e o módulo RTK são sincronizados em microssegundos para capturar com alta precisão a localização do centro das imagens de cada câmera.

Posteriormente a obtenção das imagens adquiridas em cada voo, foi iniciado o processamento dos dados utilizando os softwares Agisoft Metashape® e o Qgis® (QGIS Desktop 3.28.10). No Metashape foi elaborado os ortomosaicos, que é o resultado da junção de todas as fotos capturadas pelo drone corrigidas geometricamente. Após isso, foi obtido por parcela os índices de vegetação por meio dos ortomosaicos no software Qgis.

Os índices de vegetação utilizados na pesquisa estão descritos na **Tabela 1**.

Tabela 1: Índices de vegetação utilizados para estimar a biomassa das gramíneas.

Índices de vegetação utilizados	
Índices	Fórmula
Green leaf index- GLI	$(2 * G - R - B) / (2 * G + R + B)$
Normalized green red difference index- NGRDI	$(G - R) / (G + R)$
Normalized pigment chlorophyll ratio index- NPCI	$(R - B) / (R + B)$
Visible atmospherically resistant index- VARI	$(G - R) / (G + R - B)$
Modified chlorophyll absorption reflectance index- MCARI	$[(RE - R) - 0,2 * (RE - G)] (RE / R)$
Transformed chlorophyll absorption reflectance index- TCARI	$3 * [(RE - R) - 0,2 * (RE - G) * (RE / R)]$
Normalizes difference vegetation index- NDVI	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$
Soil adjusted vegetation index- SAVI	$(NIR - R) * (1 + 0,5) / (NIR + R + 0,5)$
Chlorophyll index- CLGREEN	$(NIR / G) - 1$
Chlorophyll index-red edge - CIRE	$(NIR / RE) - 1$

Fonte: Freitas (2021).

4.3 Obtenção de dados da cultura no campo

A coleta dos dados da cultura em campo foi realizada no mês de agosto de 2024. Foi retirado um ponto da altura média por parcela e determinado a matéria seca por secagem em estufa com circulação de ar forçado. As amostras foram depositadas em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar (55°C) durante o período de 72 horas. Todas as amostras foram pesadas logo após o processo de secagem, obtendo o teor de matéria seca de cada parcela.

4.4 Análise dos dados e análise estatística

Os dados de produção de biomassa foram correlacionados no Microsoft Excel com os índices de vegetação obtidos das imagens e logo após, foi gerado um modelo que foi avaliado por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R²).

O Coeficiente de correlação de Pearson (r) foi determinado conforme a Eq. 1:

$$r = \frac{\sum (xi - x)(yi - y)}{\sqrt{\sum (xi - x)^2 \sum (yi - y)^2}} (1)$$

Onde: xi é o valor dos dados da variável obtidos em campo; x é a média aritmética para os dados da variável obtidos em campo; yi é o valor dos dados estimados que se quer correlacionar; y é a média aritmética para os dados estimados que se quer correlacionar.

Os níveis de significância para a análise de correlação de Pearson estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Correlação de Pearson com os níveis de correlação.

Coefficientes de correlação	Força da correlação
$r=0$	Não há correlação
$0 < r \leq 0,5$	Correlação fraca
$0,5 < r \leq 0,75$	Correlação moderada
$0,75 < r \leq 0,9$	Correlação forte
$0,9 < r < 1$	Correlação muito forte
$r = 1$	Correlação perfeita

Fonte: Embrapa.

O coeficiente de determinação (R^2) foi determinado conforme a Eq. 2:

$$R^2 = \frac{\sum(Y_i - Y_m)^2}{\sum(Y_i - Y_L)^2} (2)$$

Onde: Y_i são os valores estimados em campo; Y_m é a média dos valores estimados pelo modelo; Y_i são os valores estimados pelo modelo de regressão e o Y_L é a média dos valores medidos em campo.

5. Resultados e discussão

Observa-se na tabela 3, que o coeficiente de determinação (R^2) e de correlação (r) variaram entre os índices de vegetação obtidos das imagens multiespectrais no voo de 60 m de altura e a média de matéria seca das cultivares do gênero *Panicum* (Tanzânia, Quênia, Massai, Aruana, Zuri e Mombaça). É possível observar que para cada cultivar, um índice de vegetação apresentou maior desempenho, sendo o MCARI para Tanzânia; NDVI para Quênia e Massai; NPCI para Aruana e CIRE para Zuri e Mombaça. De modo geral, todas as cultivares demonstraram correlação muito forte com os respectivos índices de vegetação.

Tabela 3: Coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a massa seca das plantas e os índices de vegetação das cultivares do gênero *Panicum* no voo de 60 m.

ÍNDICES	<i>PANICUM</i> - R^2 e r (60 m)											
	TANZÂNIA		QUÊNIA		MASSAI		ARUANA		ZURI		MOMBAÇA	
	R^2	r	R^2	r	R^2	r	R^2	r	R^2	r	R^2	r
GLI	0,79	0,88	0,83	0,91	0,65	0,81	0,92	0,96	0,52	0,72	0,14	0,37
NGRDI	0,74	0,86	0,85	0,92	0,32	0,57	0,70	0,84	0,59	0,77	0,91	0,95
NPCI	0,56	0,74	0,76	0,87	0,98	0,99	0,99	0,99	0,37	0,61	0,85	0,92
VARI	0,21	0,46	0,26	0,51	0,68	0,82	0,24	0,49	0,48	0,69	0,57	0,75
MCARI	0,86	0,93	0,84	0,92	0,71	0,84	0,73	0,85	0,48	0,69	0,87	0,93
TCARI	0,54	0,73	0,62	0,79	0,58	0,76	0,19	0,44	0,45	0,67	0,89	0,94
NDVI	0,55	0,74	0,87	0,93	0,99	0,99	0,98	0,99	0,82	0,91	0,32	0,57
SAVI	0,27	0,52	0,41	0,64	0,82	0,91	0,24	0,49	0,19	0,44	0,20	0,45
CLGREEN	0,72	0,85	0,52	0,72	0,75	0,87	0,93	0,96	0,86	0,93	0,76	0,87
CIRE	0,55	0,74	0,42	0,65	0,76	0,87	0,86	0,93	0,88	0,94	0,99	0,99

R^2 : coeficiente de determinação;

r : coeficiente de correlação.

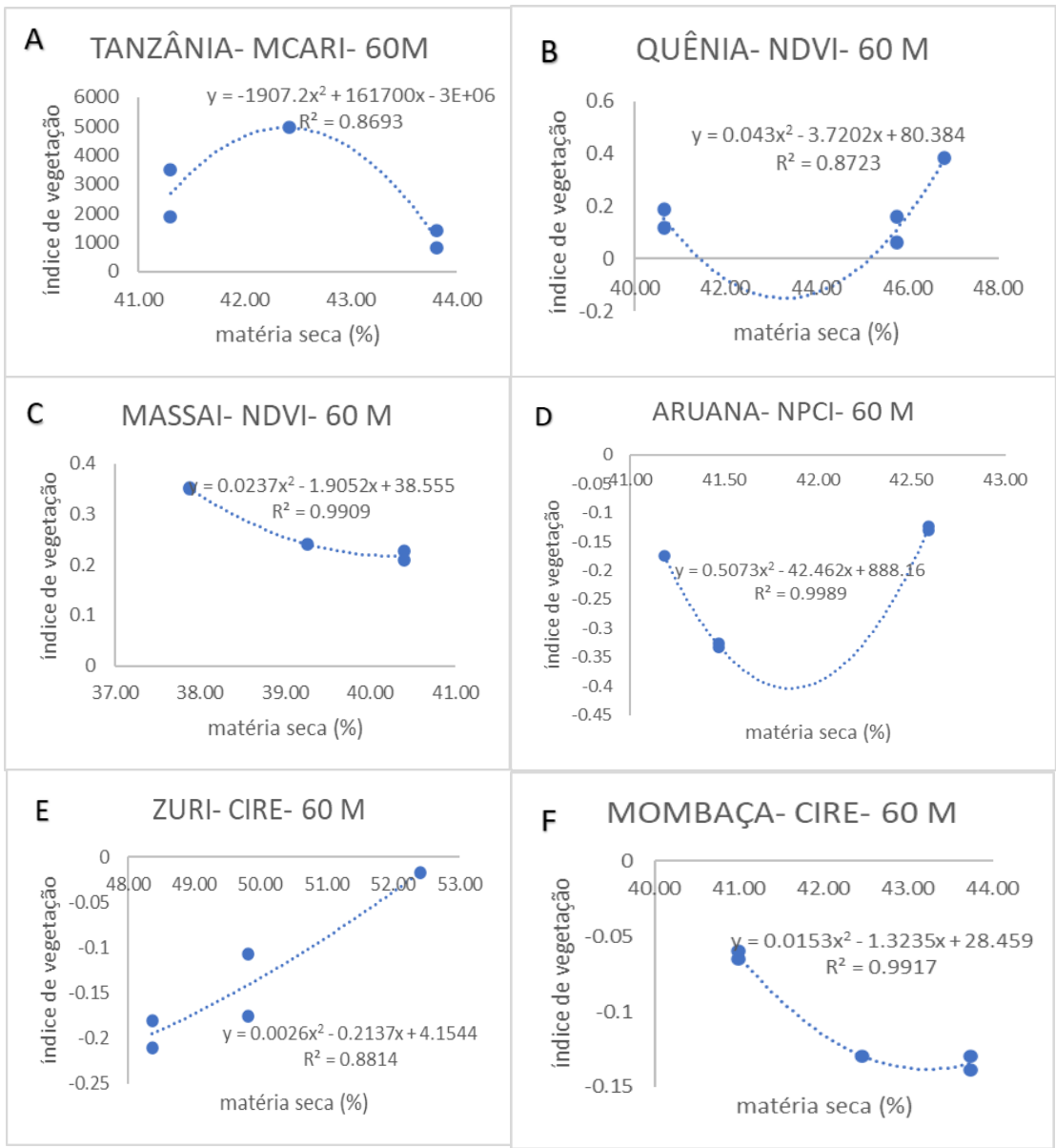
GLI: Green leaf index- GLI; NGRDI: Normalized green red difference index; NPCI: Normalized pigment chlorophyll ratio index; VARI: Visible atmospherically resistant index; MCARI: Modified chlorophyll absorption reflectance index; TCARI: Transformed chlorophyll absorption reflectance index; NDVI: Normalizes difference vegetation index; SAVI: Soil adjusted vegetation index; CLGREEN: Chlorophyll index; CIRE: Chlorophyll index-red edge.

O NDVI associado à biomassa demonstrou bom desempenho em gramíneas com dossel mais uniforme e vigoroso. O MCARI, por sua vez, destacou-se por sua sensibilidade ao conteúdo de clorofila, apresentando melhor desempenho em espécies com elevada área foliar e

folhas mais verdes. O NPCI apresentou capacidade de detectar variações fisiológicas relacionados à senescência e à degradação da clorofila. Já o CIRE, demonstra-se eficiente em gramíneas com dossel denso e alta biomassa.

É possível observar na Figura 3 os gráficos de dispersão entre os dados de matéria seca e diferentes índices de vegetação para as cultivares do gênero *Panicum* no voo de 60 m. Observa-se que os modelos de regressão ajustados apresentaram bons coeficientes de determinação, o que indica elevada capacidade dos índices de vegetação em explicar a variabilidade da matéria seca das gramíneas.

Figura 3: Gráficos de dispersão dos índices de vegetação e da média de matéria seca das gramíneas do gênero *Panicum* no voo de 60 m.



Fonte: Próprio autor (2025).

O índice de vegetação que apresentou o maior ajuste no modelo para a cultivar Tanzânia foi o MCARI com $R^2 = 0,86$ (Figura 3A) indicando forte correlação entre o índice e a biomassa. O NDVI demonstrou maior ajuste para as cultivares Quênia com $R^2 = 0,87$ (Figura 3B), assim como a cultivar Massai com $R^2 = 0,99$ (Figura 3C). Para o Aruana o índice de maior modelo foi o NPCI (Figura 3D) com $R^2 = 0,99$. Já o índice CIRE demonstrou maiores resultados nas cultivares Zuri (Figura 3E) com $R^2 = 0,88$ e Mombaça (Figura 3F) com $R^2 = 0,99$. Todos os índices apresentaram correlação muito forte (entre 0,93 e 0,99) com a biomassa das diferentes cultivares de *Panicum* (Tabela 3).

Silva et al. (2015) avaliando o uso de índice de vegetação na estimativa da produção de biomassa de plantas de cobertura de solo, utilizando-se do uso do NDVI para analisar as variáveis selecionadas, observaram que todos os tratamentos avaliados apresentaram regressões polinomiais de segundo grau significativas, com valores de coeficiente de determinação variando de $R^2 = 0,31$ a $0,76$.

De forma semelhante, Damasceno et al. (2020) avaliaram a eficiência do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na estimativa da biomassa aérea de forragens tropicais observaram que o NDVI apresentou forte correlação entre a produção de biomassa das forrageiras, com o coeficiente de determinação entre 0,45 e 0,82.

Observa-se na tabela 4, o coeficiente de determinação e de correlação dos dados dos índices de vegetação obtidos das imagens multiespectrais do voo de 80 m de altura e da média da matéria seca das espécies do gênero *Panicum*. Para cada espécie obteve-se um índice de vegetação com maior desempenho, sendo o CLGREEN para Tanzânia e Zuri; VARI para Quênia; NGRDI para Massai; NDVI para Aruana e MCARI para Mombaça. Estes índices demonstraram correlação muito forte com as respectivas espécies.

É possível observar que os modelos da altura de 80 m resultaram em bons ajustes entre os índices de vegetação e a biomassa, no entanto, apresenta maior variabilidade em comparação a altura de 60 m.

Tabela 4: Coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a massa seca das plantas e os índices de vegetação das cultivares do gênero *Panicum* no voo de 80 m.

ÍNDICES	<i>PANICUM- R² e r (80 m)</i>											
	TANZÂNIA		QUÊNIA		MASSAI		ARUANA		ZURI		MOMBAÇA	
	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r
GLI	0,76	0,87	0,73	0,85	0,23	0,48	0,44	0,66	0,81	0,90	0,66	0,81
NGRDI	0,81	0,90	0,45	0,67	0,96	0,98	0,76	0,87	0,46	0,68	0,83	0,91
NPCI	0,69	0,83	0,49	0,70	0,41	0,64	0,84	0,92	0,68	0,82	0,62	0,79
VARI	0,65	0,81	0,97	0,98	0,66	0,81	0,80	0,89	0,80	0,89	0,47	0,69
MCARI	0,15	0,39	0,19	0,44	0,14	0,37	0,75	0,87	0,73	0,85	0,95	0,97
TCARI	0,20	0,45	0,84	0,92	0,85	0,92	0,85	0,92	0,64	0,80	0,52	0,72
NDVI	0,88	0,94	0,70	0,84	0,93	0,96	0,95	0,97	0,68	0,82	0,64	0,80
SAVI	0,92	0,96	0,50	0,71	0,91	0,95	0,85	0,92	0,62	0,79	0,73	0,85
CLGREEN	0,95	0,97	0,33	0,57	0,17	0,41	0,73	0,85	0,97	0,98	0,39	0,62
CIRE	0,21	0,46	0,88	0,94	0,12	0,35	0,40	0,63	0,53	0,73	0,58	0,76

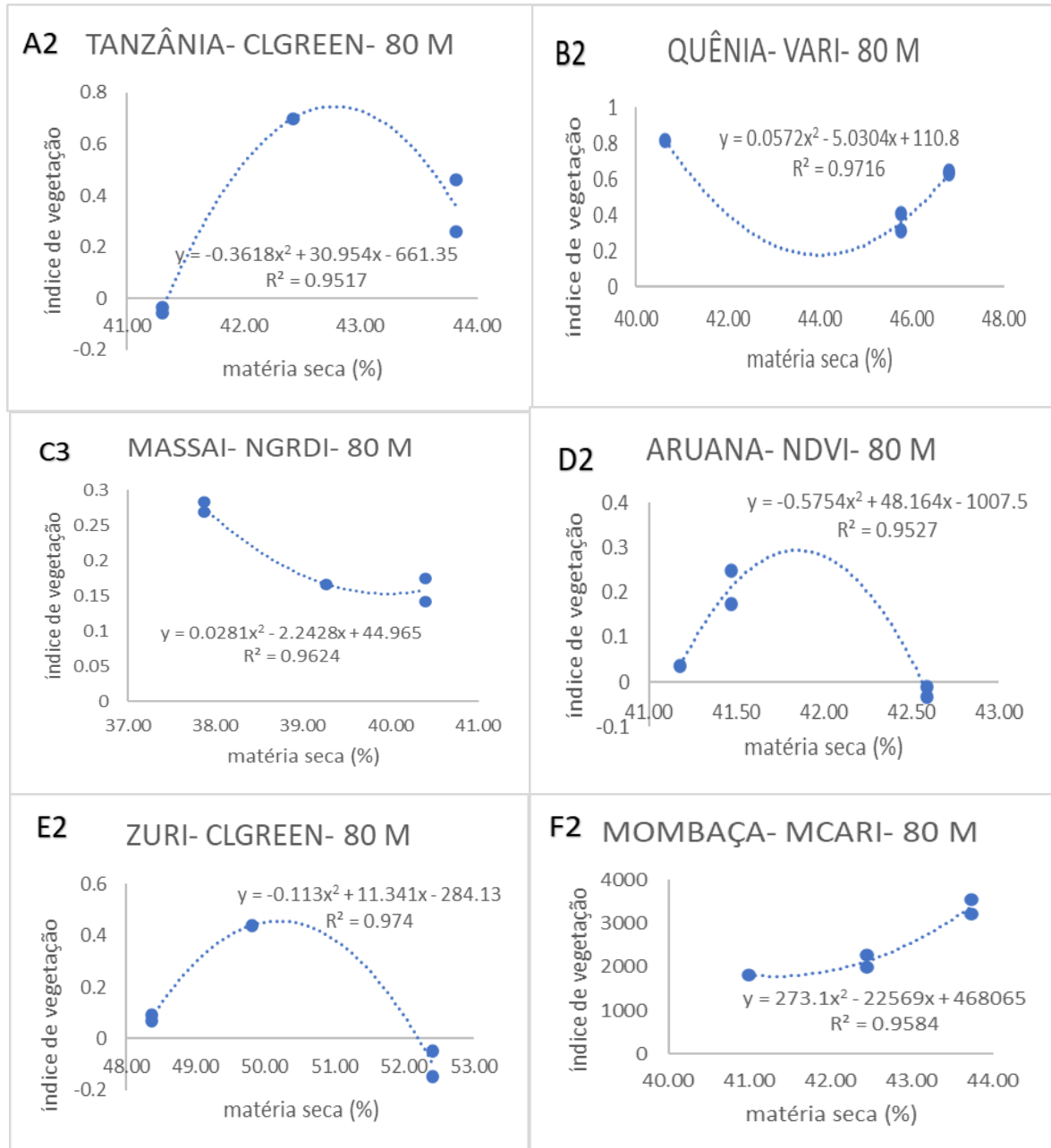
R²: coeficiente de determinação;

r: coeficiente de correlação.

GLI: Green leaf index- GLI; NGRDI: Normalized green red difference index; NPCI: Normalized pigment chlorophyll ratio index; VARI: Visible atmospherically resistant index; MCARI: Modified chlorophyll absorption reflectance index; TCARI: Transformed chlorophyll absorption reflectance index; NDVI: Normalizes difference vegetation index; SAVI: Soil adjusted vegetation index; CLGREEN: Chlorophyll index; CIRE: Chlorophyll index-red edge.

É possível observar na Figura 4, os gráficos de dispersão entre os dados de matéria seca e os diferentes índices de vegetação para as cultivares do gênero *Panicum* no voo de 80 m. demonstrando bons modelos de regressão ajustados com elevados coeficientes de determinação, indicando forte associação entre a resposta espectral e a biomassa das gramíneas.

Figura 4: Gráficos de dispersão dos índices de vegetação e da média de matéria seca das gramíneas do gênero *Panicum* no voo de 80 m.



Fonte: Próprio autor (2025).

O índice de vegetação CLGREEN apresentou maior ajuste de modelo para as cultivares Tanzânia com $R^2 = 0,95$ (Figura 4A) e Zuri com $R^2 = 0,97$ (Figura 4E). A cultivar Quênia (Figura

4B) apresentou maior ajuste com o índice VARI com $R^2= 0,97$ (Figura 4A). Já para a gramínea Massai o melhor índice foi o NGRDI com $R^2= 0,96$ (Figura 4C). O NDVI demonstrou maior resultado na Aruana com $R^2= 0,95$ (Figura 4D). Logo, para o Mombaça o melhor índice foi o MCARI com $R^2= 0,95$ (Figura 4. F). Todos os índices apresentaram correlação muito forte com a biomassa das diferentes cultivares de *Brachiaria* (Tabela 4).

Em pesquisa realizada por Neves et al (2025), que avaliou a correlação entre a produtividade do milho e os índices de vegetação, foi identificado uma correlação positiva entre o índice de vegetação NDVI e a produtividade da cultura. Os resultados indicaram que o NDVI apresentou coeficiente de determinação de $R^2= 0,99$, evidenciando sua forte associação com o aumento da produtividade do milho.

Observa-se na tabela 5 os coeficientes de determinação e de correlação entre os diferentes índices de vegetação e a média de matéria seca das cultivares do gênero *Brachiaria* (Ruziziensis, Paiaguás, Piatã, Marandu, Decumbens, Cayana, Mulato 2 e Sabiá), com as imagens multiespectrais a 60 m de altura. Nestes resultados 3 espécies apresentaram dois índices com maior desempenho e mesmo resultado, sendo esses: Ruziziensis (VARI e TCARI); Piatã (NDVI e CLGREEN) e Sabiá (GLI e VARI). O índice VARI também demonstrou maior resultado para as espécies Paiaguás, Marandu e Mulato 2; o MCARI para Decumbens e NDVI para Cayana.

Em um estudo sobre a predição de biomassa acima do solo em pastagens de *Brachiaria*, (Alvarez-Mendoza et al., 2022) observaram que índices obtidos por sensoriamento remoto são estatisticamente significativos na estimativa da biomassa, com o coeficiente de determinação podendo variar conforme o tipo de modelagem empregado e a imagem utilizada.

Tabela 5: Coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a massa seca das plantas e os índices de vegetação das cultivares do gênero *Brachiaria* no voo de 60 m.

ÍNDICES	<i>BRACHIARIA- R² e r (60 m)</i>															
	RUZIZIENSIS		PAIAGUÁS		PIATÃ		MARANDU		DECUMBENS		CAYANA		MULATO 2		SABIÁ	
	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r
GLI	0,74	0,86	0,84	0,92	0,90	0,95	0,63	0,79	0,78	0,88	0,83	0,91	0,78	0,88	0,96	0,98
NGRDI	0,83	0,91	0,73	0,85	0,80	0,89	0,92	0,96	0,60	0,77	0,69	0,83	0,60	0,77	0,68	0,68
NPCI	0,42	0,65	0,81	0,90	0,58	0,76	0,57	0,75	0,52	0,72	0,66	0,81	0,66	0,81	0,85	0,85
VARI	0,92	0,96	0,88	0,94	0,31	0,56	0,99	0,99	0,46	0,68	0,88	0,94	0,96	0,98	0,96	0,98
MCARI	0,45	0,67	0,56	0,75	0,55	0,74	0,59	0,77	0,90	0,95	0,49	0,70	0,74	0,86	0,84	0,84
TCARI	0,92	0,96	0,62	0,79	0,75	0,87	0,90	0,95	0,42	0,65	0,63	0,79	0,63	0,79	0,95	0,95
NDVI	0,68	0,82	0,69	0,83	0,96	0,98	0,91	0,95	0,79	0,89	0,98	0,99	0,39	0,62	0,85	0,85
SAVI	0,46	0,68	0,63	0,79	0,51	0,71	0,49	0,70	0,54	0,73	0,46	0,68	0,59	0,77	0,73	0,73
CLGREEN	0,33	0,57	0,72	0,85	0,96	0,98	0,62	0,79	0,80	0,89	0,45	0,67	0,42	0,65	0,59	0,59
CIRE	0,36	0,60	0,32	0,57	0,89	0,94	0,89	0,94	0,75	0,87	0,84	0,92	0,72	0,85	0,92	0,92

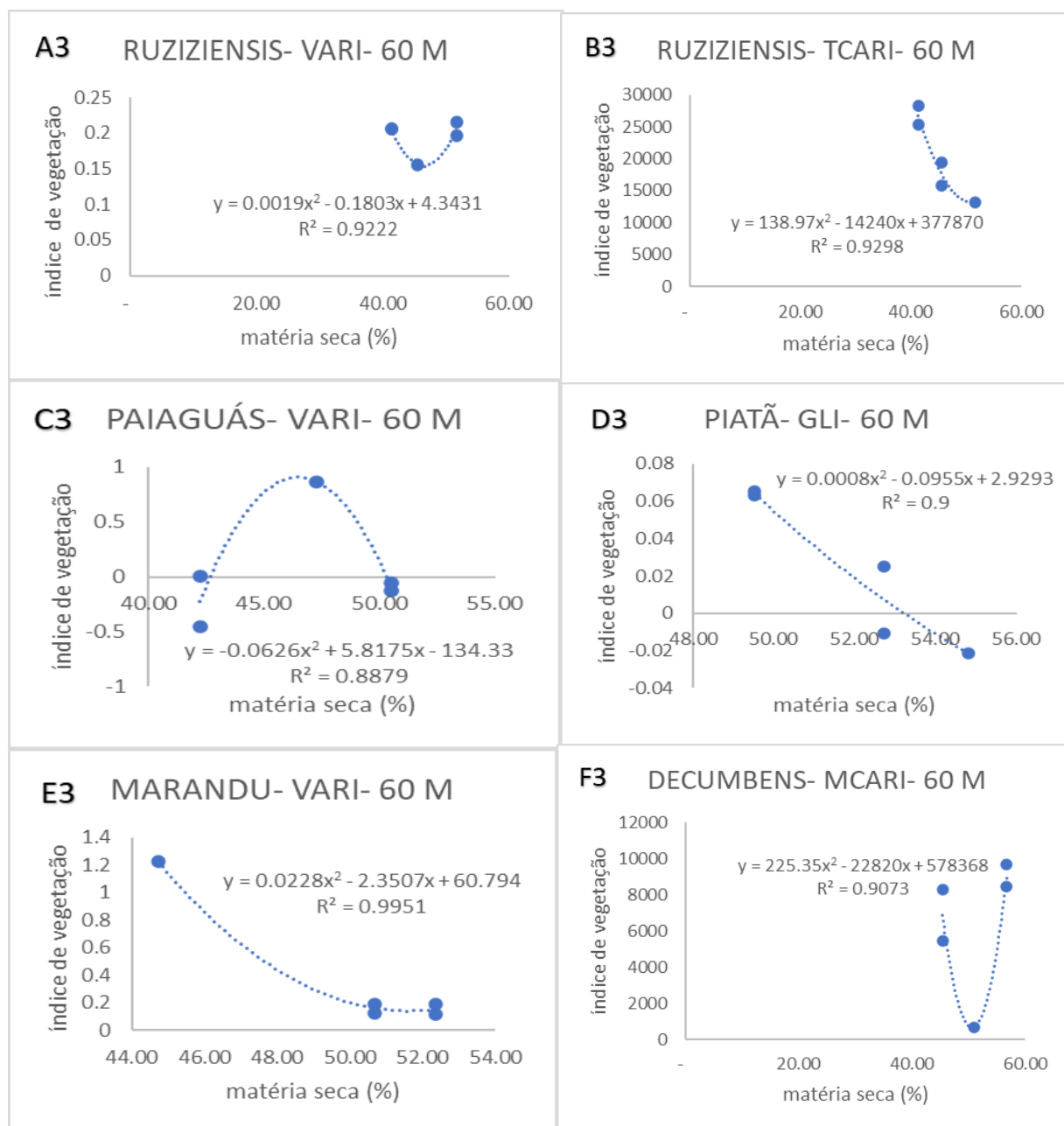
R²: coeficiente de determinação;

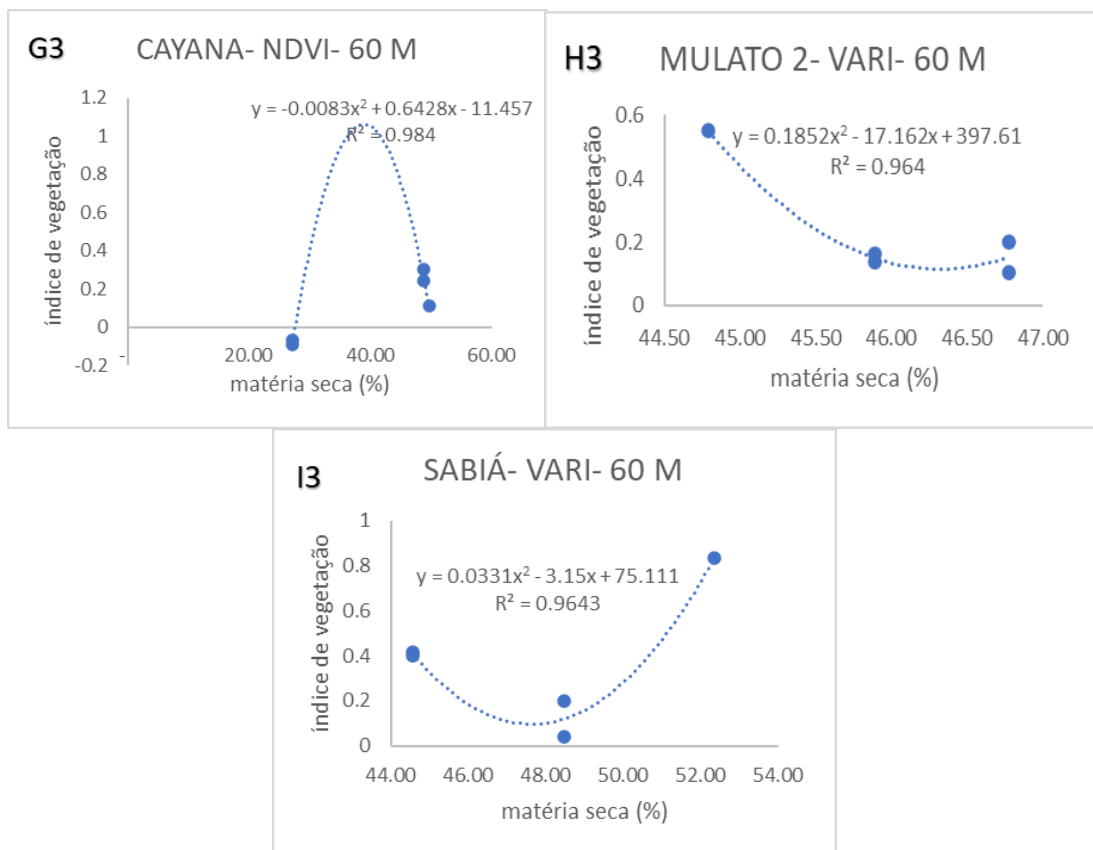
r: coeficiente de correlação.

GLI: Green leaf index- GLI; NGRDI: Normalized green red difference index; NPCI: Normalized pigment chlorophyll ratio index; VARI: Visible atmospherically resistant index; MCARI: Modified chlorophyll absorption reflectance index; TCARI: Transformed chlorophyll absorption reflectance index; NDVI: Normalizes difference vegetation index; SAVI: Soil adjusted vegetation index; CLGREEN: Chlorophyll index; CIRE: Chlorophyll index-red edge.

Observa-se na figura 5 os modelos de predição das cultivares do gênero *Brachiaria* no voo de 60 m. Os modelos de regressão ajustados demonstraram bons coeficientes de determinação e correlação, indicando a capacidade dos índices de explicar a variabilidade da matéria seca das gramíneas.

Figura 5: Gráficos de dispersão dos índices de vegetação e da média de matéria seca das gramíneas do gênero *Brachiaria* no voo de 60 m.





Fonte: Próprio autor (2025).

O VARI apresentou maior ajuste para as cultivares Ruziziensis (Figura 5A) com $R^2=0,92$, o Paiaguás (Figura 5C) com $R^2=0,88$, o Marandu (Figura 5E) com $R^2=0,99$, o Mulato 2 (Figura 5H) com $R^2=0,96$ e o Sabiá (Figura 5I) com $R^2=0,96$. Além disso, a cultivar Ruziziensis apresentou outro índice com melhor resultado, o TCARI (Figura 5. B), com $R^2=0,92$. O índice GLI demonstrou melhor resultado na cultivar Piatã (Figura 5. D) com $R^2=0,90$. Para a cultivar Decumbens o maior ajuste de modelo foi o do índice MCARI com $R^2=0,90$ e para a Cayana (Figura 5G) foi o NDVI com $R^2=0,98$. Todos os índices apresentaram correlação muito forte com a biomassa das diferentes cultivares de *Brachiaria* (Tabela 5).

De acordo com Silva (2023), as bandas espectrais utilizadas na composição dos índices de vegetação apresentam respostas satisfatórias quando relacionadas aos indicadores produtivos das pastagens, sendo possível estimar a produção de matéria seca por meio do uso de câmeras espectrais de alta resolução.

Observa-se na tabela 6 o R^2 e r dos índices de vegetação e matéria seca dos dados do voo de 80 m de altura das cultivares do gênero *Brachiaria*. A espécie Ruziziensis apresentou 2 índices com maior resultado, o MCARI e SAVI, já para o índice VARI foi a espécie Paiaguás, para o GLI foi Piatã e Decumbens e para o CLGREEN foi Marandu, Cayana, Mulato 2 e Sabiá. As espécies Marandu e Mulato 2 apresentaram correlação perfeita e as demais espécies correlação muito forte com os respectivos índices de vegetação.

Tabela 6: Coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a massa seca das plantas e os índices de vegetação das cultivares do gênero *Brachiaria* no voo de 80 m.

ÍNDICES	<i>BRACHIARIA- R² e r (80 m)</i>															
	RUZIZIENSIS		PAIAGUÁS		PIATÃ		MARANDU		DECUMBENS		CAYANA		MULATO 2		SABIÁ	
	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r
GLI	0,79	0,89	0,45	0,67	0,97	0,98	0,47	0,69	0,96	0,98	0,82	0,91	0,57	0,75	0,48	0,69
NGRDI	0,92	0,96	0,96	0,98	0,92	0,96	0,45	0,67	0,34	0,58	0,71	0,84	0,81	0,90	0,90	0,95
NPCI	0,42	0,65	0,43	0,66	0,53	0,73	0,89	0,94	0,77	0,88	0,79	0,89	0,62	0,79	0,91	0,95
VARI	0,91	0,95	0,97	0,98	0,78	0,88	0,77	0,88	0,69	0,83	0,51	0,71	0,99	0,99	0,86	0,93
MCARI	0,93	0,96	0,58	0,76	0,83	0,91	0,90	0,95	0,93	0,96	0,86	0,93	0,94	0,97	0,56	0,75
TCARI	0,38	0,62	0,93	0,96	0,64	0,80	0,97	0,98	0,72	0,85	0,62	0,79	0,87	0,93	0,65	0,81
NDVI	0,29	0,54	0,71	0,84	0,75	0,87	0,80	0,89	0,88	0,94	0,43	0,66	0,96	0,98	0,98	0,99
SAVI	0,93	0,96	0,67	0,82	0,78	0,88	0,99	0,99	0,75	0,87	0,59	0,77	0,97	0,98	0,97	0,98
CLGREEN	0,73	0,85	0,44	0,66	0,80	0,89	1,00	1,00	0,43	0,66	0,87	0,93	1,00	1,00	0,99	0,99
CIRE	0,65	0,81	0,75	0,87	0,80	0,89	0,97	0,98	0,80	0,89	0,74	0,86	0,74	0,86	0,30	0,55

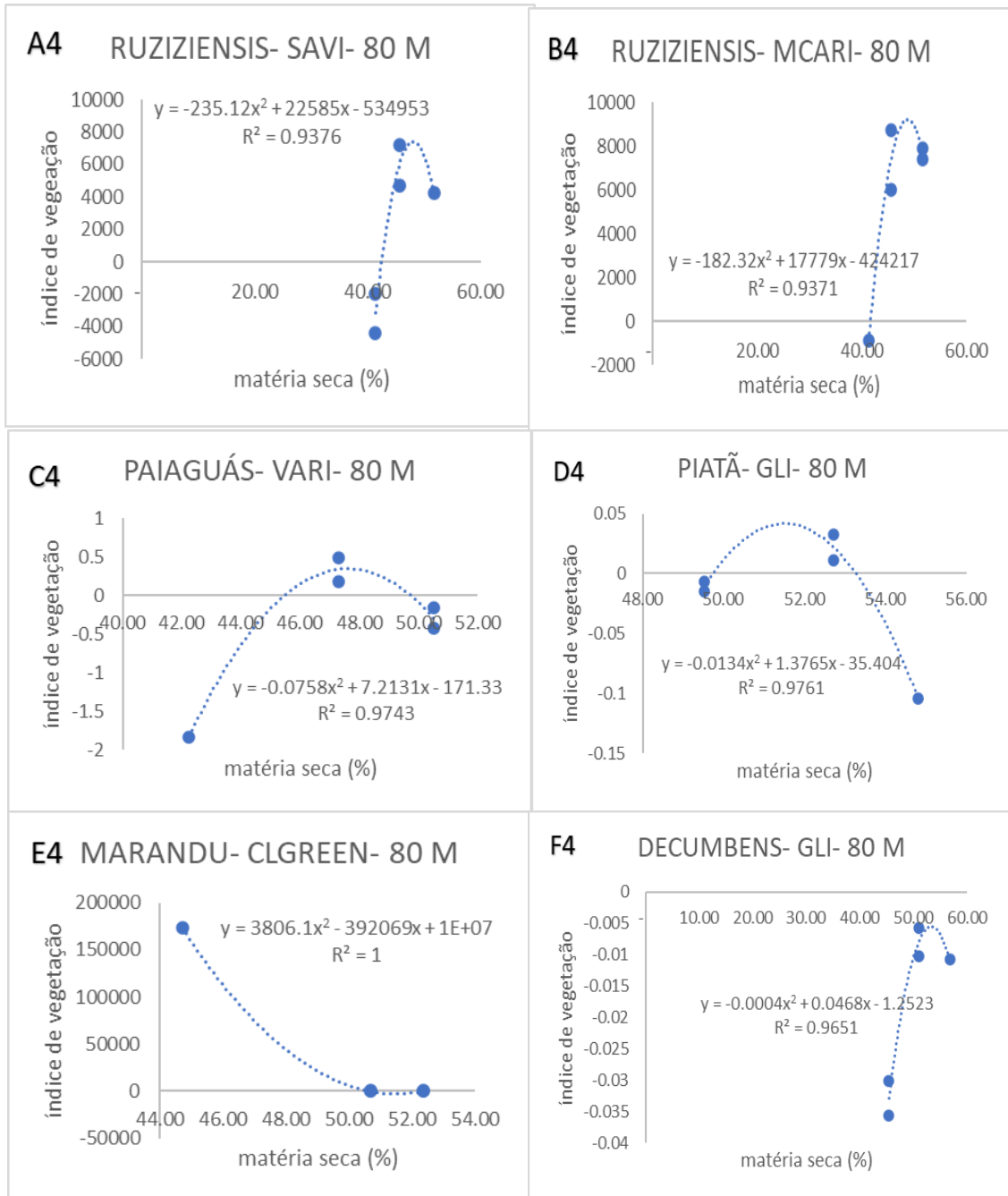
R²: coeficiente de determinação;

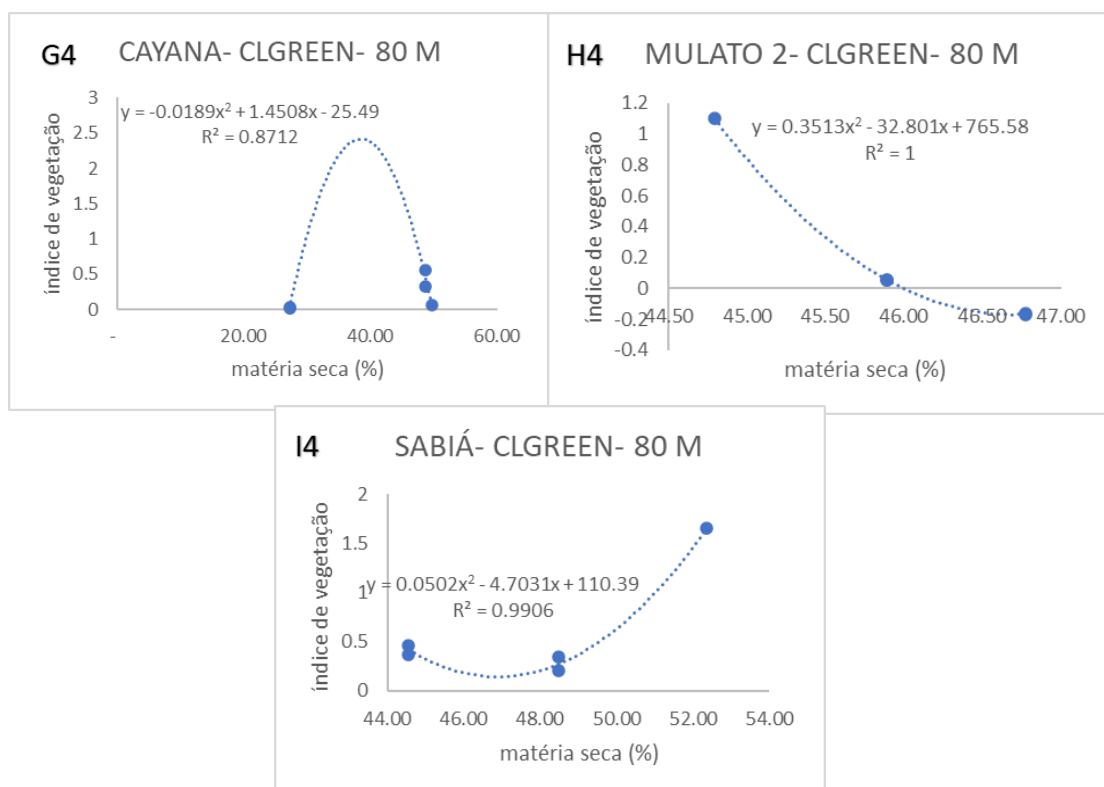
r: coeficiente de correlação.

GLI: Green leaf index- GLI; NGRDI: Normalized green red difference index; NPCI: Normalized pigment chlorophyll ratio index; VARI: Visible atmospherically resistant index; MCARI: Modified chlorophyll absorption reflectance index; TCARI: Transformed chlorophyll absorption reflectance index; NDVI: Normalizes difference vegetation index; SAVI: Soil adjusted vegetation index; CLGREEN: Chlorophyll index; CIRE: Chlorophyll index-red edge.

É possível observar na figura 6, os dados dos índices de vegetação obtidos no voo de 80 m. Os modelos de regressão ajustados apresentaram bons resultados de coeficientes com os índices analisados.

Figura 6: Gráficos de dispersão dos índices de vegetação e da média de matéria seca das gramíneas do gênero *Brachiaria* no voo de 80 m.





Fonte: Próprio autor (2025).

O índice de vegetação CLGREEN apresentou maior ajuste no modelo nas cultivares Marandu (Figura 6E) com $R^2 = 1$, Cayana (Figura 6G) com $R^2 = 0,87$, Mulato 2 (Figura 6H) com $R^2 = 1$ e o Sabiá (Figura 6. I) com $R^2 = 0,99$. A cultivar Ruziziensis teve o maior ajuste no modelo em dois índices de vegetação, no SAVI (Figura 6 A) com $R^2 = 0,93$ e no MCARI (Figura 6B) com $R^2 = 0,93$. Para o Paiaguás o melhor índice foi o VARI (Figura 6C) com $R^2 = 0,97$ e o GLI demonstrou melhor modelo na cultivar Piatã (Figura 6D) com $R^2 = 0,97$ e o Decumbens (Figura 6F) com $R^2 = 0,96$ (Tabela 6)

Em um estudo que avaliou a estimativa da produção de pastagem cultivada utilizando índices de vegetação e variáveis de texturas a partir de imagens de drone, verificou-se que o modelo com melhor desempenho para estimar biomassa apresentou coeficiente de determinação de $R^2 = 0,63$. Esse resultado reforçou o potencial de uso de veículos aéreos não tripulados como ferramenta eficiente com elevado rendimento operacional, para estimar a biomassa forrageira (Freitas, 2021).

6. Conclusões

Para a gramínea do gênero *Panicum*, os índices de vegetação NPCI, MCARI, NDVI e CIRE apresentaram os maiores resultados para estimativa de biomassa, demonstrando R^2 e r com correlação forte e muito forte, respectivamente. Com isso, os melhores modelos são o da altura de voo de 60 m, apresentando maior precisão entre a resposta espectral e a matéria seca e menor variabilidade dos modelos. Para as gramíneas do gênero *Brachiaria*, os índices de vegetação VARI, MCARI, NDVI, SAVI e CLGREEN apresentaram os melhores resultados para estimativa de biomassa, com correlação forte e muito forte. Com isso, o voo de 60 m de altura apresentou melhores modelos. Portanto, o estudo demonstra que foi possível o uso de VANT com sensor multiespectral como ferramenta para estimativa da biomassa forrageira, para o monitoramento e a tomada de decisão do manejo das mesmas.

7. Referências bibliográficas

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparokev, G. Köppen climate classification map for Brazil. 2013. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728.

Alves, F. G. S.; Felix, B. A.; Peixoto, M. S. M.; Santos, P. M.; Costa, R. B.; Sales, R. O. Considerações sobre manejo de pastagens na região semiárida do Brasil: Uma Revisão. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA, Fortaleza, v. 8, n. 4, p. 259-284, 2014.

Alvarez-Mendoza, C. I.; Guzman, D.; Casas, J.; Bastidas, M.; Polanco, J.; Valencia-Ortiz, M.; Montenegro, F.; Arango, J.; Ishitani, M.; Selvaraj, M. G. Predictive Modeling of above-ground biomass in *Brachiaria* pastures from satellite and UAN imagery using machine learning approaches. Remote Sensing, Basel, v. 14, n. 22, p. 5870, 2022.

Azevedo, J. P. Pastejo rotacionado: veja a importância para sistemas de criação de gado de corte. Rehagro Blog, 2018. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/pastoreio-para-bovinos-de-corte/>. Acesso em: 09 de jan de 2026.

Barros, A. S.; Farias, L. M. de; Marinho, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte-CE. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 06, p.

Bessa, L. F. F. Qualidade de sementes, crescimento e biomassa de gramíneas nativas do Cerrado. 2025. Dissertação, Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/51877>. Acesso em: 31 mai. 2025.

Castro, W. J. R.; *et al.* Características morfofisiológicas do gênero *Brachiaria*. 2014. Pubvet, v. 8, n. 15, art. 1757, p. 264.

Cecato, U.; Skrobot, V. D.; Fakir, G. M.; Jobim, C. C. Características morfogênicas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com fontes de fósforo, sob pastejo. 2007. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 36, p. 1699-1706.

Damasceno, V. G.; Torres, A. F. F.; Santos Neto, C. F.; Silva, R. G.; Cândido, M. J. D. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para estimativa do potencial produtivo de forrageiras exóticas. Comunicado Oral no V COINTER PDVAgro, Recife, 2020. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/smart/2020/pdvagro/uploads/3570.pdf>. Acesso em: 09 de jan de 2026.

Dias Filho, M. B. Manejo profissional da pastagem: fundamento para uma pecuária empresarial. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, Belém, PA, v. 431, 30 p., 2017. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1069803>. Acesso em: 08 de jan de 2026.

Duarte, C. F. D., *et al.* Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. 2019. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 71, n. 5, p. 1669–76. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10844>.

Formaggio, A. R.; Sanches, I. D. Sensoriamento remoto em agricultura. 2017. São Paulo: Oficina de Textos. 288 p. ISBN: 9788579752827.

Freitas, R. G. Estimativa da produção de pastagem cultivada utilizando índices de vegetação e variáveis de texturas a partir de imagens de drone. 2021. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, SP.

Freixial, R.; Barros, J. Pastagens. 2012. Universidade de Évora. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/5107>.

Garcez, B. S.; Alves, A. A.; Araújo, D. L.C.; Lacerda, M. S. B.; Souza, L. G. C.; Carvalho, L. F. Degradabilidade ruminal do capim coloniã (Panicum maximum jacq. cv. coloniã) em três idades pós-rebrota. 2016. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 10, n. 2, p. (Artigo 5512). DOI: 10.21708/avb.2016.10.2.5513. Disponível em:

<https://periodicos.ufersa.edu.br/acta/article/view/5513>. Acesso em: 7 jan. 2025.

Kuntschik, G. Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar. 2004. Tese (Doutorado em Ciências, Área de Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde14012005084048/publico/Tese_revisada.pdf. Acesso em: 30 mai. 2025.

Lorenzzetti, J. A. Princípios físicos de sensoriamento remoto. 2015. São Paulo. 15 ISBN: 978-85-212-0836-5.

Moreira, N. Agronomia das forragens e pastagens. 2002. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 190 p. ISBN: 972-669-487-6.

Neves, S. O.; Silva, P. A.; Oliveira, G. S.; Souza, J. P. S.; Cardozo, É. P. Correlação entre a Produtividade do Milho e os Índices de Vegetação Utilizando Imagens do Sentinel-2. 2025. Revista De Gestão E Secretariado, GeSec, v. 16, n. 4, p. 01-19. <https://doi.org/10.7769/gesec.v16i4.4811>. Acesso em: 22 de dez de 2025.

Nunes, N. M. Produtividade, desempenho animal e taxa de lotação em pastagens de Panicum spp. mantidas sob lotação rotativa. 2021. Monografia- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32024/3/ProdutividadeDesempenhoAnimal.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

Rosalen, D. L.; Goes, M. J.; Pinhal, C. V. G.; Silva, L. Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada. 2017. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC). Disponível em: https://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/4/fullpaper/CT04-75_1505676139.pdf. Acesso em: 31 mai. 2025.

Rosatti, J. C. Detecção da doença mela-das-sementes da braquiária em gramíneas forrageiras através de técnicas de sensoriamento remoto. 2006. Dissertação- Univeridade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, SP. Disponível em: Detecção da doença mela-das-sementes da braquiária em gramíneas forrageiras através de técnicas de sensoriamento remoto. Acesso em: 31 mai. 2025.

Seiffert, N. F. Gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria*. 1980. Campo Grande, MS: Embrapa-CNPQC. 83 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/320689>.

Silva, C. S. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. 2004. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Anais de Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, v. 2, p. 347-385. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigos/fundamentosparamanejobrachiariaepanicum.pdf>. Acesso em: 21 de de dez 2025.

Silva, D. A. A.; Santi, A. L.; Santos, M.S.; Dal Bello, R. A. M.; Martini, R. T. Uso de Índice de Vegetação na Estimativa da Produção de Biomassa de Plantas de Coberturas do Solo. 2015. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 11, n. 22, p. 2772-2780.

Silva, E. N. Resposta Espectral e Índices de Vegetação Obtido por Meio de Vant em Área de Pastagem. 2023. Trabalho de Conclusão do Curso- Universidade Estadual de Goiás, Santa Helena de Goiás, GO. <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/2722>. Acesso em: 22 de dez de 2025.

Souza, H. R. S. Potencial nutritivo de capins dos gêneros: *Brachiaria*, *Cynodon* e *Panicum* indicados para regiões tropicais. 2021. Trabalho de conclusão de curso- Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, Juazeiro, BA, 2021. Disponível em: <https://saberaberto.uneb.br/server/api/core/bitstreams/92b6caec-44e8-43fb-a1e6-8e2cb2049982/content>. Acesso em: 23 abr. 2025.

Steffen, C. A. Introdução ao sensoriamento remoto. Apostila. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais– INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 26 ago. 2025