UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA OBTIDOS A PARTIR DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Raphael Duarte de Sousa

Orientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen
Coorientador: Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Jaboticabal – SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA OBTIDOS A PARTIR DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Raphael Duarte de Sousa

Orientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen
Coorientador: Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, para a graduação em Engenharia Agronômica

Jaboticabal – SP

S725i

Sousa, Raphael Duarte de

Índices de vegetação em sistemas integrados lavoura, pecuária e floresta obtidos a partir de aeronaves remotamente pilotadas / Raphael Duarte de Sousa. -- Jaboticabal, 2023

28 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: David Luciano Rosalen

Coorientador: José Ricardo Macedo Pezzopane

1. Agricultura de precisão. 2. Drone. 3. Plantas forrageiras. 4. Geoprocessamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL

DEPARTAMENTO: Engenharia e Ciências Exatas

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA OBTIDOS A PARTIR DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

ACADÊMICO: Raphael Duarte de Sousa

CURSO: Engenharia Agronômica

ORIENTADOR: David Luciano Rosalen

COORIENTADOR: José Ricardo Macedo Pezzopane

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	David Luciano Rosalen	gov.br Documento assinado digitalmente DAVID LUCIANO ROSALEN Data: 19/09/2023 17:32:06-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Membro	Hideo Araki	Prof. Dr. Hideo Araki Departamento de Geomática-UFPR
Membro	Waldomiro Barioni Junior	

Jaboticabal 19 / 09 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 22 / 9 2023, por ato "ad referendum" do Conselho do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

Chefe do Departamento
Prof. Dr. Danisio Prado Munari
chefe do DECEx

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Daniela Duarte e Marcos Serafim (*in memorian*), pelo amor e apoio dedicado em todos esses anos. Ao meu tio, Alex César (*in memorian*) e avós, Valdira Duarte (*in memorian*) e Florisvaldo Rodrigues, por toda educação e carinho. Dedico também a minha noiva, Fernanda de Abreu, que confiou e acreditou em meu sonho. E a todos os amigos presentes nos momentos alegres e difíceis. Sem essas pessoas a jornada que trilhei não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. David Luciano Rosalen e ao meu coorientador Dr. José R. M. Pezzopane que além da atenção e aprendizado, contribuem para sociedade como exemplo de professores e pesquisadores.

Agradeço aos professores e servidores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por capacitarem as pessoas e tornar possível a ciência pública com acesso a todos.

Agradeço também a Embrapa por toda responsabilidade com a pesquisa no Brasil, tecnologias e espaço cedido. E não menos importante ao Analista de Geoprocessamento, Danilo Serra da Rocha pelas conversas e ensinamentos.

Muito Obrigado!

Este trabalho foi formatado de acordo com as normas da revista *Caatinga* (https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/preparodosmanuscritos).

SUMÁRIO

RESUMO **9**
ABSTRACT **10**
INTRODUÇÃO **11**
MATERIAL E MÉTODOS **12**
RESULTADOS E DISCUSSÃO **18**
CONCLUSÕES **25**
REFERÊNCIAS **25**

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SISTEMAS INTEGRADOS LAVOURA, PECUÁRIA E FLORESTA OBTIDOS A PARTIR DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Raphael Duarte de Sousa[1], David Luciano Rosalen[2], José R. M. Pezzopane[3]

RESUMO – A quantificação de forragem pode ser realizada por métodos diretos e indiretos. Dentre as tecnologias empregadas para coleta indireta destaca-se o sensoriamento remoto, que utiliza parâmetros de reflectância da vegetação e armazena esses dados em imagens, afim de gerar índices que podem ser aplicados como indicadores da qualidade ambiental. O presente trabalho objetivou analisar os resultados de dois índices de vegetação para estimar a pastagem em diferentes sistemas de bovinos de corte entre maio/2022 a março/2023. Os dados foram obtidos na Unidade de Referência Tecnológica e de Pesquisa localizada na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos-SP. Essa unidade possui área de 30 ha composta por cinco sistemas produtivos de bovinos de corte a pasto diferentes, ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), Silvipastoril, ILP (Integração Lavoura-Pecuária), Intensivo e Extensivo; sendo cada sistema composto por 6 ha. As imagens foram obtidas em maio/2022, agosto/2022, dezembro/2022 e março/2023 a partir do modelo de câmera AGX 710 (Sentera, EUA), embarcada no drone Matrice 210 (DJI, China). Os índices de vegetação utilizados foram o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDRE (*Normalized Difference Red Edge*). O processamento das imagens foi realizado nos *softwares* Pix4D e QGIS. Em ambos os índices de vegetação os valores obtidos apresentaram um padrão, indicando alta produção nos sistemas ILPF e Silvipastoril, média produção nos sistemas ILP e Intensivo, e baixa produção no sistema Extensivo. Os meses de dezembro/2022 e março/2023 foram observados os maiores valores e os meses de maio/2022 e agosto/2022 os menores valores, demonstrando a influência das estações do ano sob as pastagens.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Drone; Plantas forrageiras; Geoprocessamento.

[1] Graduando em Engenharia Agronômica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.
[2] Prof. Dr. David Luciano Rosalen, Engenheiro Agrônomo, Professor do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.
[3] Prof. Dr. José Macedo Ricardo Pezzopane, Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da EMBRAPA Pecuária Sudeste.

Vegetation indices in integrated crop-livestock-forest systems obtained from remotely piloted aircraft

ABSTRACT - Forage can be quantified using direct and indirect methods. Among the technologies used for indirect collection is remote sensing, which uses reflectance parameters of the vegetation and store this data in images aiming to generate indexes that can be applied as indicators of environmental quality. The aim of this study was to analyze the results of two vegetation index to estimate pasture in different cattle systems between May/2022 and March/2023. The data was obtained from the Technological Reference and Research Unit located at Embrapa Pecuária Sudeste in São Carlos-SP. This unit has an area of 30 ha consisting of five different pasture cattle production systems, ILPF (Crop-Livestock-Forest Integration), Silvipastoril, ILP (Crop-Livestock Integration), Intensive and Extensive; each system has an area of 6 ha. The images were taken in May/2022, August/2022, December/2022 and March/2023 from the AGX 710 camera (Sentera, USA), carried on the Matrice 210 Remotely Piloted Aircraft (DJI, China). The vegetation indices used were NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDRE (Normalized Difference Red Edge). The images were processed using Pix4D and QGIS software. In both vegetation indices, the values obtained show a similar pattern, indicating high production in the ILPF and Silvipastoril systems, moderate production in the ILP and Intensive systems, and low production in the Extensive system. The months of December/2022 and March/2023 was observed the highest values, while the months of May/2022 and August/2022 had the lowest values, demonstrating the influence of the seasons on pastures.

Key words: Precision agriculture; Drones; Forage crop; Geoprocessing

INTRODUÇÃO

O uso eficiente das forrageiras possui relação direta com a produtividade do sistema, portanto estimar a quantidade de forragem disponível, calculando a velocidade de crescimento da planta e a capacidade de suporte da pastagem, é importante para evitar desperdícios (SALMAN et. al., 2006). Ainda mais considerando a importância dessa pastagem na relação do custo total de produção (COSTA et al., 2005; CORRÊA et al., 2009). Esses estudos demonstraram que em sistemas extensivos a pastagem corresponde aproximadamente 35% do custo total e, em sistemas mais intensivos, o investimento na pastagem corresponde a 17% da produção.

A estimativa da quantidade de forragem é realizada por amostragem e, os métodos são agrupados em diretos e indiretos. Silva e Cunha (2002) comentam que existe alta variabilidade espacial em uma pastagem, por isso é necessário atenção ao se realizar uma estimativa. Segundo Lopes et al. (2000), o método direto não possui precisão em áreas extensas. A estimativa visual é um exemplo de método indireto, porém a precisão desta fica em função do observador.

Neste sentido destaca-se o sensoriamento remoto para avaliações indiretas, que através do posicionamento do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e sensores ópticos digitais realiza a coleta de diversas fotografias que, com a fotogrametria pode-se realizar medições precisas a partir destas (ROSALEN, 2015). Rosalen (2022) comenta que o advento do posicionamento GNSS trouxe diversos avanços para a topografia e geodésia em geral, permitindo a coleta ininterrupta da localização de qualquer ponto da superfície terrestre.

Segundo Ponzoni (2001) a imagem capturada por um sensor é o resultado da interação de parâmetros complexos e fatores ambientais. A vegetação não é uniforme e possui diversos componentes refletores, o que a torna um alvo complexo para o sensoriamento remoto (EPIPHANIO et. al., 1996). Parte da radiação solar que atravessa a atmosfera, ao interagir com o alvo pode ocasionar três fenômenos: reflectância, transmitância e absortância (ROSENDO; ROSA, 2005). De acordo com Moreira (2003), estes fenômenos podem ser quantificados por sensoriamento remoto e, a partir destes podemos fazer observações acerca das condições da vegetação.

A energia do infravermelho próximo que chega à planta, é dispersada pela folha. As bandas espectrais do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) contrastam melhor o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com parâmetros biofísicos das plantas. O contraste entre essas bandas, tem levado a diversas descobertas acerca dos índices

de vegetação (EPIPHANIO et al., 1986; ROSENDO; ROSA, 2005).

Pesquisas na área do sensoriamento remoto tem associado problemas fitossanitários com a resposta espectral de plantas não saudáveis. A vegetação ao sofrer estresse, ativa mecanismos fisiológicos de defesa que reduzem a fotossíntese. Este efeito inicial pode ser observado através de sensores multiespectrais ou hiperespectrais, onde é possível identificar diferença na assinatura espectral de plantas não saudáveis (BARROS et al., 2021).

Pezzopane et al. (2019) utilizando sensores de reflectância proximal, avaliaram os índices de vegetação NDVI, NDRE, SRI, ChL e MSR para estimar parâmetros da pastagem, como a massa total de forragem, massa de folha, massa de caule e área foliar, e observaram alta correlação.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo comparar os diferentes sistemas de produção de bovinos de corte a pasto através dos índices de vegetação NDVI e NDRE, obtidos por sensoriamento remoto. Os índices de vegetação gerados foram utilizados como indicadores ambientais e, posteriormente, através de análise estatística, estimou-se qual sistema de produção a pasto obteve o maior valor nos índices de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em sistemas de produção pecuária em uma área denominada URTP (Unidade de Referência Tecnológica e de Pesquisa) localizada na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos-SP (Figura 3). A região possui clima classificado como tropical (Köppen: Cwa), com duas estações bem definidas, seca e chuvosa (Figura 1). O período de seca ocorre nos meses de abril a setembro, com 19,9ºC de temperatura média e um total de precipitação pluviométrica de 250mm, em média. O período chuvoso é de outubro a março, com precipitação média de 1100mm e 23,0ºC de temperatura média (Figura 2).

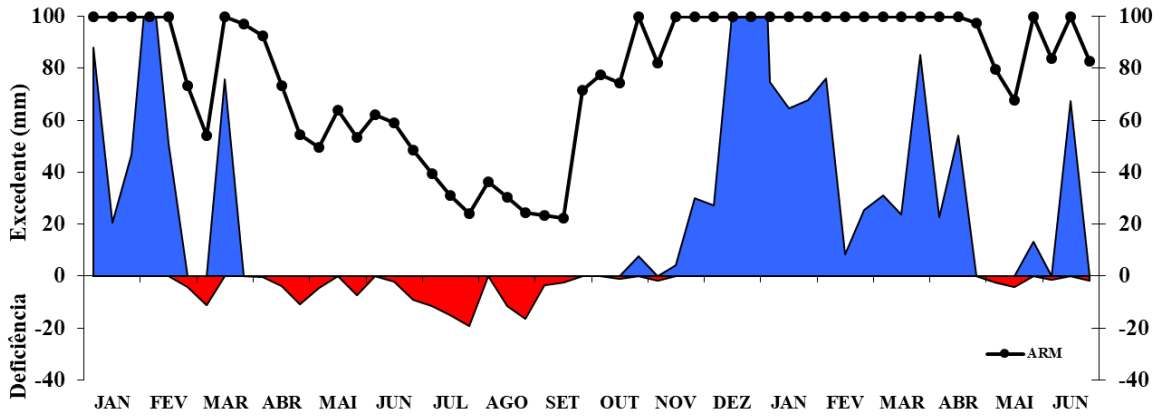


Figura 1 – Balanço hídrico sequencial do município de São Carlos de janeiro/2022 a junho/2023. (Fonte: Embrapa, 2023).

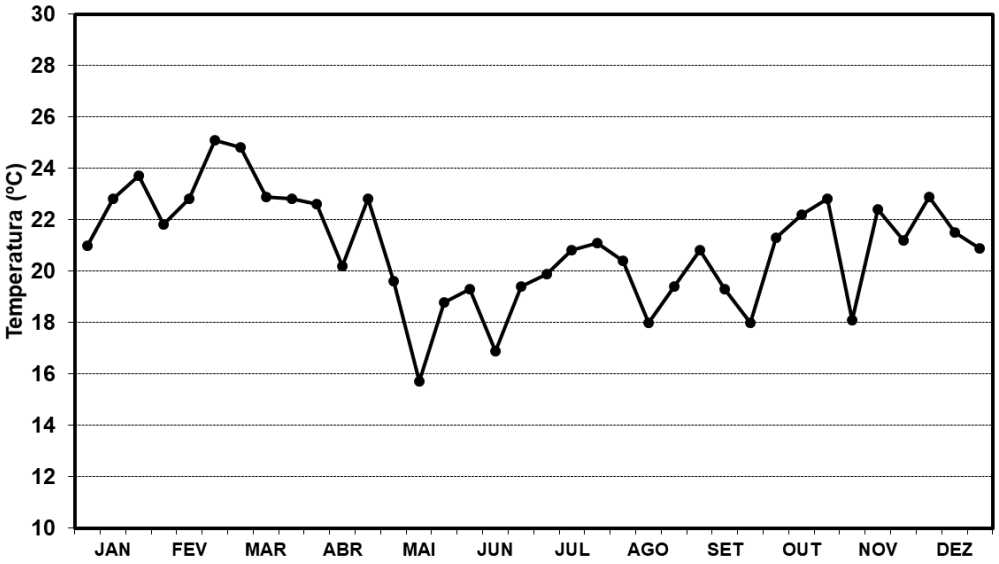


Figura 2 – Temperatura média do município de São Carlos de janeiro/2022 a dezembro/2022. (Fonte: Embrapa, 2023).

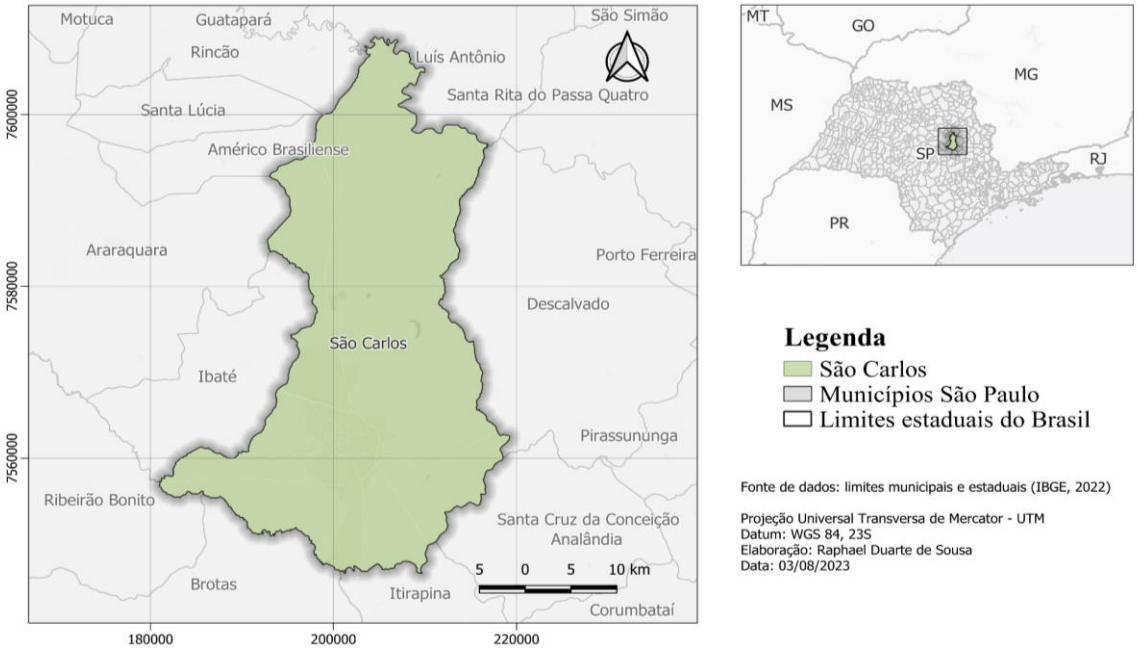


Figura 3 - Localização do município de São Carlos. (Fonte: os autores).

Os sistemas de produção são baseados na modalidade de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, projetados para incrementar a sustentabilidade na agropecuária. A área de estudo possui 30 ha, ocupada por cinco sistemas de produção de bovinos de corte diferentes (tratamentos): sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), Silvipastoril, ILP (Integração Lavoura-Pecuária), Extensivo e Intensivo; cada tratamento possui um total de 6 ha (Figura 4).

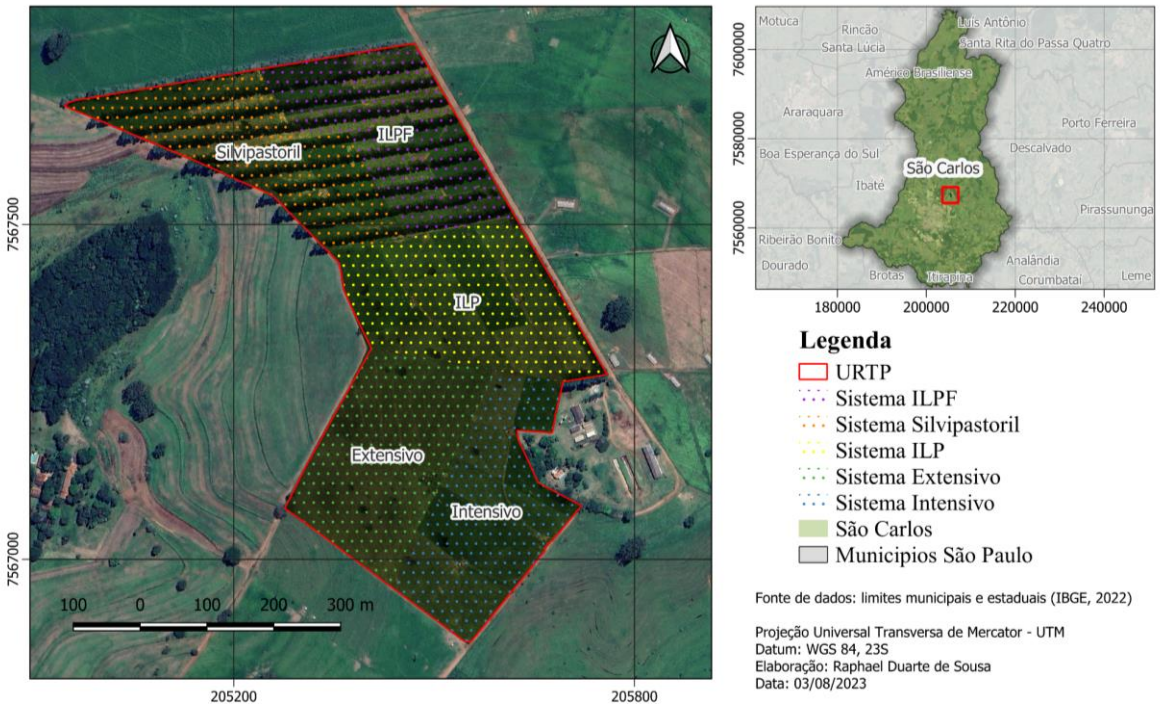


Figura 4 - Localização da Unidade de Referência Tecnológica e de Pesquisa na Embrapa Pecuária Sudeste no município de São Carlos-SP (Fonte: os autores).

O sistema ILPF possui rotação Milho- capim Piatã (*Urochloa brizantha*) a cada três anos, é arborizado com *Eucalyptus urograndis* clone GG110, com a aplicação de calcário e fertilizantes para correção e adubação do solo, com pastejo rotativo de bovinos de corte entre os piquetes. O Silvipastoril é composto por pastagens de capim Piatã onde os animais permanecem em pastejo rotativo, arborizado com *Eucalyptus urograndis* clone GG110 plantado e, é realizada a correção e adubação do solo com calcário e fertilizantes. No ILP, os animais permanecem em pastejo rotativo, ocorre a aplicação de calcário e fertilizantes e, a cada três anos é feita a rotação de culturas entre Milho e capim Piatã. No sistema extensivo, os animais permanecem em pastejo sob lotação contínua em pastagem de capim *Urochloa decumbens*, sem insumos para adubação e correção do solo. No sistema intensivo, os animais ficam em pastagem rotativa em pastos de capim Piatã, com aplicação de calcário e fertilizantes para correção e adubação do solo.

A coleta das imagens foi realizada com um drone nos dias 31/05/2022, 02/08/2022, 22/12/2022 e 01/03/2023. A drone utilizado foi o modelo Matrice 210 (DJI, China) (Figura 5a), embarcada com o sensor multiespectral modelo AGX 710 (Sentera, EUA), que possui distância focal de 5,4 mm, *pixel pitch* de 1,5 µm. sensor de 6,2 mm x 4,64 mm e resolução de 4000 x 3000 *pixels* (Figura 5b).



(a) (b)

Figura 5 - Modelo de Aeronave Remotamente Pilotada utilizada (Matrice 210 da DJI, China) (a). Sensor multiespectral utilizado (AGX 710 da Sentera, EUA) (b).

Para abranger toda a área foram necessários dois voos em cada período, com total aproximado de 30 minutos cada voo. O plano de voo foi projetado na própria interface do drone, configurados a 120 m de altura e velocidade de 10 m s^{-1}. Devido a utilização de uma câmera multiespectral, que, captura os espectros do vermelho (625nm~678 nm), verde (560nm~580nm), azul (475nm~495nm), infravermelho próximo (840nm~880nm) e vermelho de borda (717nm~727nm), para cada data foram coletadas em torno de 956 imagens.

Após a coleta das imagens multiespectrais, o primeiro procedimento foi processá-las no *software* Pix4D (AGEagle, EUA), utilizado para fotogrametria e mapeamento aéreo, que a partir das fotos capturadas permite a geração de produtos como: Ortomosaico; Modelo Digital de Superfície (MDS); Modelo Digital de Terreno (MDT); nuvem de pontos e índices de vegetação. O *hardware* utilizado foi Intel(R) Xeon(R) W-2155, CPU 3.30GHz e RAM de 64GB; sistema operacional Windows 11.

O *software* Pix4D calcula os índices de vegetação manipulando as bandas visíveis (vermelho, verde e azul), vermelho de borda (VB) e infravermelho próximo (IVP) das imagens, através de fórmulas inseridas. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foi proposto por Rouse et. al. (1974) e possui capacidade de separar os espectros da vegetação e do solo, minimizando efeitos topográficos devido a sua escala linear que varia de -1 a 1. Onde, valores próximos a 1, esperasse maior densidade vegetal, de maneira inversa, o solo é representado por valores negativos e próximos a 0, devido à ausência de vegetação. Assim, podemos relacionar altos valores de NDVI com

elevados níveis de verde da vegetação e, consequentemente um dossel mais denso (CÂMARA et al., 2001).

Já o índice de vegetação por diferença normalizada na banda de borda do vermelho, ou, *Normalized Difference Red Edge* (NDRE), desenvolvido por Barnes et. al. (2000), utiliza a faixa do vermelho de borda, denominada "*red edge*" ao invés do vermelho (BERNARDI, 2014). De acordo com Gates et. al. (1965), quanto maior a quantidade de clorofila maior o valor do comprimento de onda. Por ser capaz de medir a fundo o dossel das plantas e ser menos propenso à saturação, o NDRE se mostra mais eficiente em culturas permanentes ou em estádios avançados (OSBORN, 2022).

Para o cálculo dos índices de vegetação, NDVI (Equação 1) e NDRE (Equação 2), foram utilizadas as seguintes fórmulas encontradas na literatura:

$$NDVI = \frac{\rho IVP\ 850 - \rho V\ 625}{\rho IVP\ 850 + \rho V\ 625} \qquad \text{Equação 1.}$$

Em que: NDVI é *Normalized Difference Vegetation Index*; $\rho IVP\ 850$: é a reflectância no infravermelho próximo (850 nm). E $\rho V\ 625$: é a reflectância no vermelho (625 nm). Reflectâncias específicas capturadas pelo sensor Sentera AGX 710.

$$NDRE = \frac{\rho IVP\ 850 - \rho VB\ 720}{\rho IVP\ 850 + \rho VB\ 720} \qquad \text{Equação 2}$$

Em que: NDRE é *Normalized Difference Red Edge*; $\rho IVP\ 850$: é a reflectância da banda espectral de 850 nm (infravermelho próximo) e $\rho VB\ 720$: é a reflectância no vermelho de borda (720 nm). Reflectâncias específicas capturadas pelo sensor Sentera AGX 710.

Os índices de vegetação foram importados no *software* QGIS (QGIS, 2023), utilizando a ferramenta de extração e uma camada vetor como delimitação de área para fazer o recorte, visando excluir árvores, sombras e áreas sem interesse (cochos, caminhos), seccionando as regiões de cada tratamento. Para a exportação dos dados foi utilizado a ferramenta *Estatísticas Zonais* do *software*, que extrai os resultados de cada *pixel* do tratamento selecionado, referentes aos parâmetros estatísticos de mínimo, máximo, intervalo, soma, valor médio, desvio padrão e soma dos quadrados dos índices de vegetação, NDVI e NDRE. Através dos dados extraídos e utilizando o *software* Microsoft Excel foi calculada a amplitude, coeficiente de variação e posteriormente os dados foram organizados em tabelas e gráficos em função das datas de coletas.

Com os dados organizados, o banco de dados de cada índice de vegetação foi importado ao *software* Sisvar para realizar a análise de variância bifatorial com delineamento de blocos casualizado. Após a obtenção do relatório e analisando os resultados, foi elaborado no *software* Excel o quadro de análise de variância e desdobramento do índice NDRE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A unidade experimental em maio/2022 registrou valores médios de NDVI de 0,497 e NDRE de 0,225, em agosto/2022, o valor médio de NDVI foi 0,293 e para o NDRE foi de 0,152, em dezembro/2022, os valores médios foram 0,705 e 0,231 para NDVI e NDRE, respectivamente, em março/2023, o valor médio de NDVI foi 0,620 e de 0,244 para NDRE. As estatísticas descritivas dos índices, NDVI e NDRE, de toda a área de produção entre os meses de maio/2022 a março/2023 podem ser observados nas Tabelas 1 e 2 e Figuras 6 e 7.

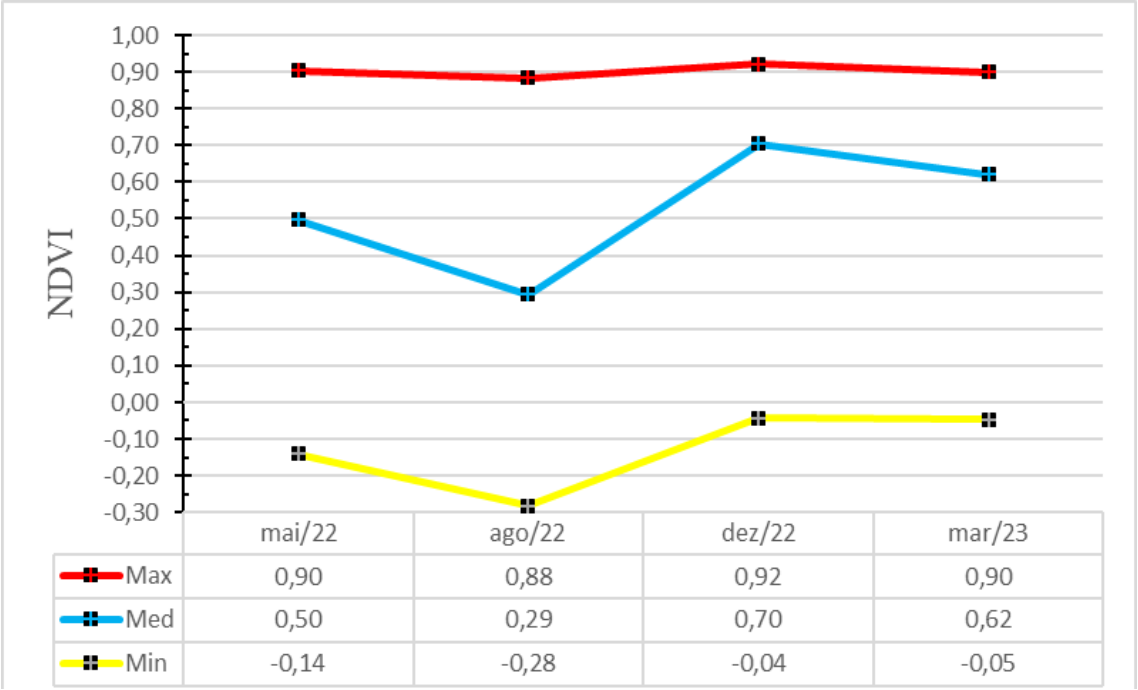


Figura 6- Índice NDVI valores máximo, médio e mínimo de toda a área de produção de maio/2022 a março/2023 (Fonte: os autores).

Tabela 1- Análise descritiva do índice NDVI de toda a área de produção de maio/2022 a março/2023.

Índice	Época	Mín	Máx	Méd	DP	A	CV (%)
NDVI	mai/22	-0,14	0,90	0,50	0,10	1,05	19,7
	ago/22	-0,28	0,88	0,29	0,10	1,17	33,8
	dez/22	-0,04	0,92	0,70	0,08	0,97	11,9
	mar/23	-0,05	0,90	0,62	0,15	0,95	23,4

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; Mín: Mínimo; Máx: Máximo; Méd: Média; DP: Desvio Padrão; A: Amplitude; CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem.

Fonte: os autores.

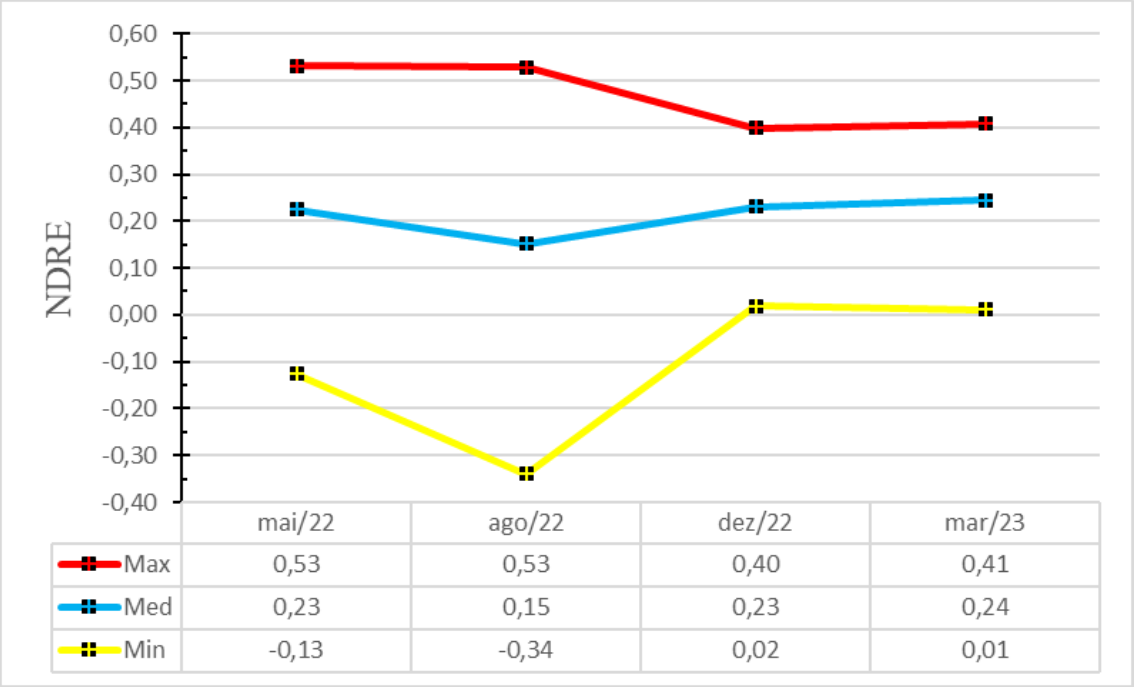


Figura 7- Índice NDRE valores máximo, médio e mínimo de toda a área de produção de maio/2022 a março/2023 (Fonte: os autores).

Tabela 2- Análise descritiva do índice NDRE de toda a área de produção de maio/2022 a março/2023.

Índice	Época	Mín	Máx	Méd	DP	A	CV (%)
NDRE	mai/22	-0,13	0,53	0,23	0,04	0,66	17,1
	ago/22	-0,34	0,53	0,15	0,04	0,87	28,2
	dez/22	0,02	0,40	0,23	0,03	0,38	13,6
	mar/23	0,01	0,41	0,24	0,04	0,40	18,2

NDRE: *Normalized Difference Red Egde*; Mín: Mínimo; Máx: Máximo; Méd: Média; DP: Desvio Padrão; A: Amplitude; CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem.

Fonte: os autores.

Para que a produção animal em pastagens ocorra de forma racional, sustentável, produtiva e economicamente viável deve-se reconhecer que a forrageira se desenvolve em função da disponibilidade de água, luz, temperatura e nutrientes, sendo que este conjunto de fatores irão definir a qualidade e velocidade do crescimento (PINTO; SILVA; SANTANA, 2015).

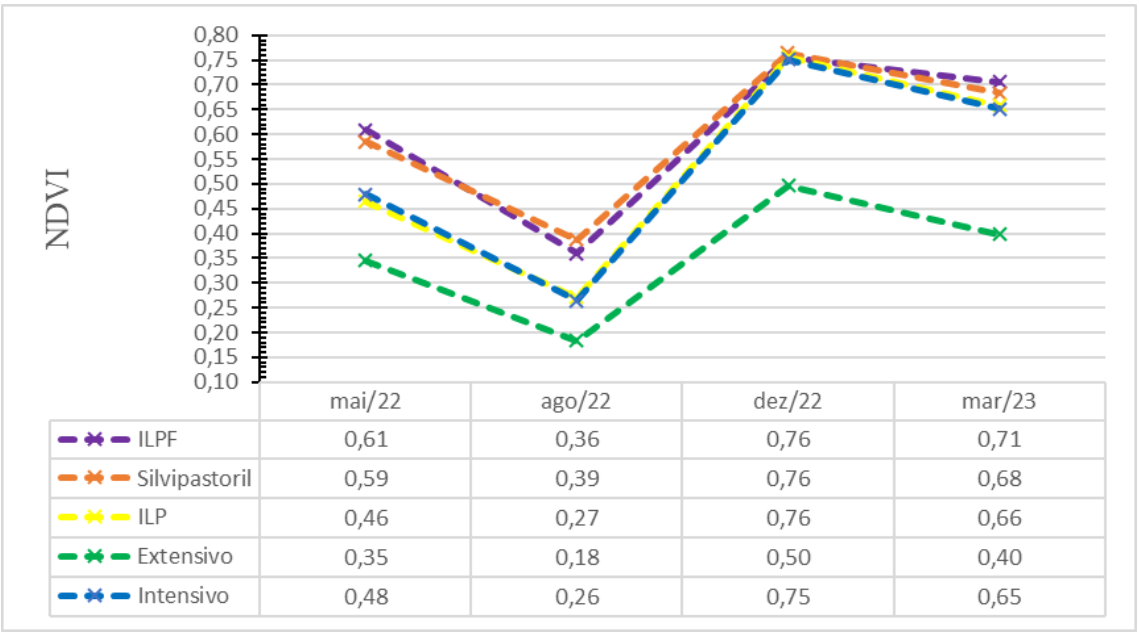
Interpretando os dados obtidos, deve-se considerar a época do ano em que cada índice foi gerado, pois o crescimento da forragem varia em função da radiação solar incidente, temperatura e disponibilidade de água, neste caso, de chuvas na região (PEZZOPANE et al., 2012). A região de São Carlos possui como características invernos secos com baixas temperaturas, alta amplitude térmica e pouca precipitação, por outro aspecto, os verões são quentes, úmidos e com elevadas precipitações pluviométricas.

As altas amplitudes dos valores de NDVI e NDRE no mês de agosto/22 indicam alta variação da cobertura vegetal, período marcado por poucas precipitações. A amplitude diminui ao decorrer do ano com a chegada das chuvas, que geralmente ocorrem de novembro a março, como podemos verificar nos valores médios de NDVI (Figura 5) e NDRE (Figura 6) para os meses de dezembro/2022 e março/2023. Além disso, este efeito também é observado no coeficiente de variação para os mesmos períodos, que, em agosto/2022 foi de 33,8% para o NDVI e 28,2% para o NDRE. Já em dezembro/2022, o coeficiente de variação foi de 11,9% e 13,6% para o NDVI e NDRE, respectivamente, indicando baixa cobertura vegetal no período de seca e maior cobertura vegetal no período chuvoso.

O índice NDVI por utilizar a banda do espectro vermelho para o cálculo demonstra ser eficiente na identificação de áreas com baixa cobertura vegetal, devido a coloração avermelhada do solo da região, categorizada como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (CALDERANO FILHO et al., 1998), sendo que este solo é representado no NDVI com valores negativos. Na Tabela 1 observamos que em todos os períodos o NDVI registrou valores negativos, porém em agosto, período de estiagem, estes valores se exacerbam.

O índice NDRE (Tabela 2) utiliza a banda do espectro vermelho de borda para o cálculo, apresentando menor saturação das reflectâncias, desta maneira este índice não representa de forma eficiente as variações nas áreas de baixa cobertura e alta densidade vegetal; resultando em menores amplitudes que não alcançam valores próximos a 1. Por ser menos sensível às variações, o NDRE não contrasta os períodos entre secas e chuvas tanto quanto o NDVI, obtendo médias mais constantes. Em ambos os índices foi possível notar diferença na vegetação da área entre as estações seca e chuvosa, porém o NDVI foi o que melhor representou esta variação.

Nas Figuras 8 e 9 podemos observar os valores médios de NDVI e NDRE para cada tratamento da área separadamente. As estatísticas descritivas dos índices em cada sistema de produção durante o período de maio/2022 a março/2023 podem ser observadas nas Tabelas 3 e 4.



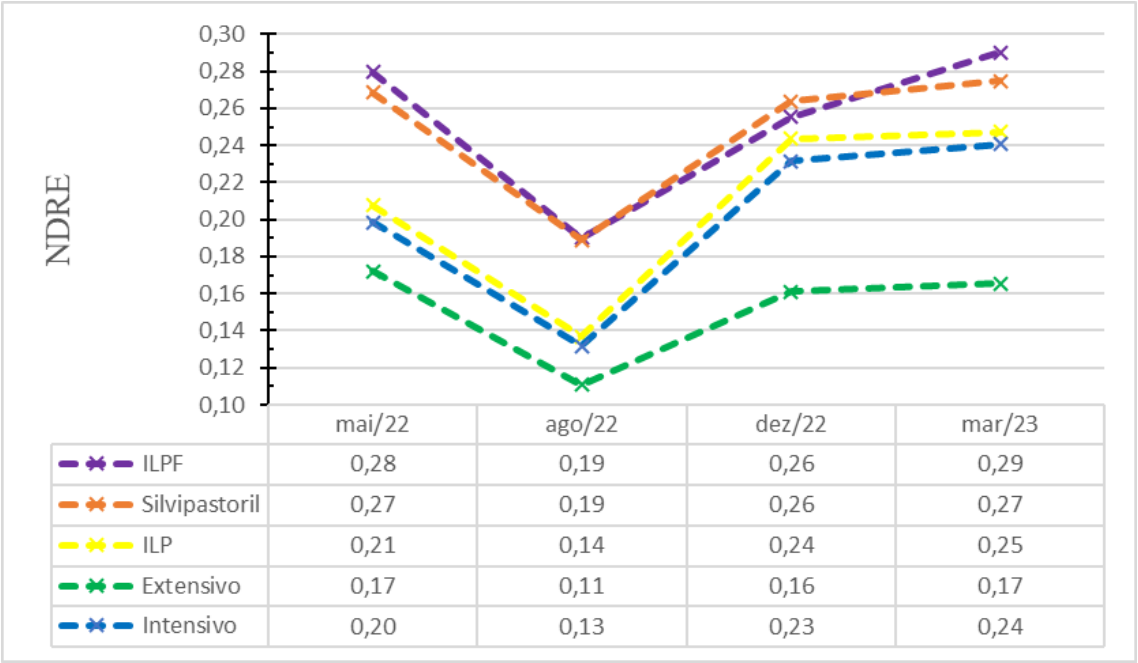
	mai/22	ago/22	dez/22	mar/23
ILPF	0,61	0,36	0,76	0,71
Silvipastoril	0,59	0,39	0,76	0,68
ILP	0,46	0,27	0,76	0,66
Extensivo	0,35	0,18	0,50	0,40
Intensivo	0,48	0,26	0,75	0,65

Figura 8- Valores médios de NDVI em cada sistema (ILPF, Silvipastoril, ILP, Extensivo e Intensivo) de maio/2023 a março/2023 (Fonte: os autores).

Tabela 3- Análise descritiva do índice NDVI de cada um dos cinco sistemas de produção de maio/2022 a março/2023.

Época	Parâmetro	ILPF	Silvipastoril	ILP	Extensivo	Intensivo
mai/22	Média	0,61	0,59	0,46	0,35	0,48
	Mínimo	-0,06	-0,13	-0,22	-0,13	-0,18
	Máximo	0,92	0,94	0,90	0,81	0,96
	Desvio Padrão	0,12	0,13	0,09	0,06	0,10
	Coef. variação	19,45	22,30	18,39	16,95	20,04
ago/22	Média	0,36	0,39	0,27	0,18	0,26
	Mínimo	-0,27	-0,16	-0,46	-0,30	-0,23
	Máximo	0,89	0,93	0,87	0,76	0,97
	Desvio Padrão	0,14	0,14	0,08	0,04	0,09
	Coef. variação	38,58	37,36	29,15	24,45	33,16
dez/22	Média	0,76	0,76	0,76	0,50	0,75
	Mínimo	-0,03	0,00	-0,02	-0,05	-0,12
	Máximo	0,94	0,95	0,95	0,88	0,90
	Desvio Padrão	0,10	0,09	0,08	0,07	0,08
	Coef. variação	12,60	11,83	10,21	14,93	10,89
mar/23	Média	0,71	0,68	0,66	0,40	0,65
	Mínimo	-0,01	0,01	0,01	-0,05	-0,20
	Máximo	0,96	0,93	0,91	0,80	0,90
	Desvio Padrão	0,15	0,19	0,15	0,09	0,15
	Coef. variação	21,37	27,69	22,05	23,15	22,71

Fonte: os autores.



	mai/22	ago/22	dez/22	mar/23
ILPF	0,28	0,19	0,26	0,29
Silvipastoril	0,27	0,19	0,26	0,27
ILP	0,21	0,14	0,24	0,25
Extensivo	0,17	0,11	0,16	0,17
Intensivo	0,20	0,13	0,23	0,24

Figura 9- Valores médios de NDRE em cada sistema (ILPF, Silvipastoril, ILP, Extensivo e Intensivo) de maio/23 a março/23 (Fonte: os autores).

Tabela 4- Análise descritiva do índice NDRE de cada um dos cinco sistemas de produção de maio/2022 a março/2023.

Época	Parâmetro	ILPF	Silvipastoril	ILP	Extensivo	Intensivo
mai/22	Média	0,28	0,27	0,21	0,17	0,20
	Mínimo	-0,05	-0,15	-0,12	-0,15	-0,17
	Máximo	0,60	0,58	0,51	0,47	0,50
	Desvio Padrão	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
	Coef. variação	17,60	18,91	15,53	15,54	16,97
ago/22	Média	0,19	0,19	0,14	0,11	0,13
	Mínimo	-0,20	-0,35	-0,37	-0,43	-0,35
	Máximo	0,54	0,58	0,40	0,52	0,60
	Desvio Padrão	0,05	0,06	0,03	0,03	0,04
	Coef. variação	28,25	30,22	23,70	26,13	31,55
dez/22	Média	0,26	0,26	0,24	0,16	0,23
	Mínimo	0,02	0,05	0,02	0,01	0,00
	Máximo	0,42	0,47	0,39	0,35	0,38
	Desvio Padrão	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
	Coef. variação	14,32	15,24	11,79	14,90	12,12
mar/23	Média	0,29	0,27	0,25	0,17	0,24
	Mínimo	0,07	0,02	0,07	0,00	-0,10
	Máximo	0,47	0,45	0,40	0,30	0,41
	Desvio Padrão	0,06	0,06	0,04	0,02	0,04
	Coef. variação	19,34	22,69	14,92	13,61	18,27

Fonte: os autores.

Houve diferença significativa do índice de vegetação NDRE para as épocas do ano, para os tratamentos e para a interação entre os fatores (Tabela 5). O comportamento do índice NDRE mostrou variação entre os tratamentos e os períodos observados, no entanto esse comportamento foi distinto para cada sistema de produção e época (Tabela 6). Em maio de 23, a análise de variância identificou 3 distinções entre os sistemas de produção, sem diferença significativa entre os tratamentos ILPF e Silvipastoril, que apresentaram as maiores médias; no mês de agosto de 2023, o ILPF e Silvipastoril foram os sistemas com os maiores valores médios, com diferenças significativas entre os sistemas ILP, extensivo e intensivo; em dezembro de 2023, o sistema com menor valor foi o extensivo, com um diferença significativa em relação aos outros sistemas; em março de 2023, o sistema ILPF foi o tratamento que obteve o maior valor, havendo uma diferença significativa em relação aos sistemas Silvipastoril, ILP e intensivo para o tratamento extensivo, que apresentou o menor valor.

No índice NDVI, foi observado uma diferença significativa para as épocas e tratamentos, contudo a interação entre os fatores não foi significativa a 5% de probabilidade (Tabela 5). O mês de agosto é marcado pelos menores valores do índice e, em dezembro os maiores valores, sendo que os sistemas mais produtivos foram o ILPF e Silvipastoril, seguido dos sistemas ILP e Intensivo e por fim o sistema Extensivo (Tabela 7).

Tabela 5- Análise de variância para os índices de vegetação NDVI e NDRE obtidos por sensoriamento remoto na URTP de maio/2022 a março/2023.

Fonte de variação	Grau de Liberdade	P valor	
		NDVI	NDRE
Sistema	4	0,0000**	0,0000**
Época	3	0,0000**	0,0000**
Sistema x Época	12	$0,0592^{ns}$	0,0299**
Erro	20		
Total Corrigido	39		

**: significativo a 5 % pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

Fonte: os autores.

Tabela 6- Índice de vegetação NDRE dos cinco sistemas de produção, dados obtidos de maio/2022 a março/2023.

Sistema Produção	Épocas do ano				Média
	mai/22	ago/22	dez/22	mar/23	
ILPF	0,28 cBC[(1)]	0,19 bA	0,25 bB	0,29 cC	0,25
Silvipastoril	0,27 cB	0,19 bA	0,26 bB	0,27 bcB	0,25
ILP	0,21 bB	0,14 aA	0,24 bB	0,24 bB	0,21
Extensivo	0,17 aB	0,11 aA	0,16 aB	0,16 aB	0,15
Intensivo	0,19 abB	0,13 aA	0,23 bC	0,24 bC	0,20
Média	0,22	0,15	0,23	0,24	

[(1)]Letras minúsculas na coluna comparam os sistemas de produção em uma mesma época do ano e letras maiúsculas na linha comparam em diferentes épocas do ano o mesmo sistema de produção, pelo teste de Tukey a 5 %.

Fonte: os autores.

Tabela 7- Índice de vegetação NDVI dos cinco sistemas de produção, dados obtidos de maio/2022 a março/2023.

Sistema Produção	Épocas do ano				Média
	mai/22	ago/22	dez/22	mar/23	
ILPF	0,61	0,36	0,76	0,71	0,61 a
Silvipastoril	0,59	0,39	0,76	0,68	0,61 a
ILP	0,46	0,27	0,76	0,66	0,54 b
Extensivo	0,35	0,18	0,50	0,40	0,36 c
Intensivo	0,48	0,26	0,75	0,65	0,54 b
Média	0,50 b	0,30 a	0,71 d	0,62 c	

Fonte: os autores.

Os sistemas de integração alcançaram maiores valores devido ao seu manejo voltado a conservação da água e do solo. Isso os tornou menos suscetíveis ao estresse hídrico durante os períodos de menor precipitação pluviométrica, além dos benefícios decorrentes da adubação e correção do solo.

O efeito da fertilidade do solo se mostrou muito eficiente nas pastagens, podemos destacar como exemplo o sistema intensivo, que apesar de não adotar um sistema de integração, alcançou altos valores nos índices de vegetação. Entretanto, podemos observar o efeito contrário no sistema extensivo, que por não incorporar práticas de integração, consórcio, rotação de culturas, correção e adubação do solo, obteve os menores valores.

Os resultados de NDVI e NDRE representaram de forma satisfatória o comportamento da vegetação ao decorrer do tempo. Porém, o NDVI por não possuir interação entre as épocas e os sistemas de produção, representa melhor a comparação entre os tratamentos ao longo do

ano. No mês de dezembro de 2022, foram observados os maiores valores de NDVI, independente do sistema. Anualmente, em média, o sistema ILPF e Silvipastoril apresentam os maiores valores, seguidos pelo sistema Intensivo e pelo ILP, sendo que os menores valores foram observados no sistema Extensivo.

Já o NDRE, devido a interação sistema e época do ano, os sistemas de produção apresentam valores que dependem do mês observado, sendo eficiente para avaliação em períodos específicos. No mês de maio de 2022, os sistemas que apresenta os maiores valores foram o ILPF e Silvipastoril, seguido do sistema ILP, Intensivo e Extensivo. No mês de agosto de 2022 os maiores valores foram observados nos sistemas ILPF e Silvipastoril, seguido dos sistemas ILP, Intensivo e Extensivo. No mês de dezembro de 2022, os sistemas ILPF, Silvipastoril, ILP e Intensivo apresentaram os maiores valores, com o sistema Extensivo obtendo os menores valores. Já no mês de março de 2023, os maiores valores foram observados nos sistemas ILPF, seguidos pelo sistema Silvipastoril, com os sistemas ILP e Intensivo em seguida, e o sistema Extensivo registrando os valores mais baixos.

CONCLUSÕES

Em ambos os índices de vegetação, os valores obtidos apresentaram um padrão, indicando alta produção nos sistemas ILPF e Silvipastoril; produção média nos sistemas ILP e Intensivo; e baixa produção no sistema Extensivo. Os meses de dezembro de 2022 e março de 2023 registraram os maiores valores em ambos os índices de vegetação, enquanto os meses de maiode 2022 e agosto de 2022 apresentaram os menores valores. Isso demonstra a influência das estações do ano sob as pastagens, com baixos valores durante o período de seca e altos valores durante o período chuvoso, com a eficiência dos sistemas variando de acordo com o período observado.

REFERÊNCIAS

BARNES, E. M. et al. Coincident detection of crop wáter stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: International Conference on Precision Agriculture and other resource management, 2000, Bloomingto. **Proceeding…** Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2000.

BARROS, P. P. S. et al. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. **Rev. Bras. Cartogr**. , 73, 489-515, 2021

BERNARDI, A. C. C. et al. Variabilidade de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intensivo. In: BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão:** Resultados de um novo olhar. São Carlos, SP, Embrapa Pecuária Sudeste. 2014

CALDERANO FILHO, B. et al. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 95 p. (Boletim de Pesquisa, 7)

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. 324p.

CORRÊA, E. S. et al. **Sistemas de produção melhorados para gado de corte em Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2009. 11 p. (Embrapa Gado de Corte, Comunicado Técnico, 102).

COSTA, F. P. et al. **Sistemas e custos de produção de gado de corte em Mato Grosso do Sul - Regiões de Campo Grande e Dourados**. Embrapa Gado de Corte: Comunicado Técnico, n. 93, Campo Grande, MS, 2005, 8 p.

EMBRAPA. **Condições Meteorológicas estação da Embrapa Pecuária Sudeste**. 2023. Disponível em: < http://www.cppse.embrapa.br/meteorologia/index.php?pg=inicio>

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

GATES, D. M. et al. Spectral Properties of Plants. **Applied Optics** v.4, x1, p.11-20, 1965.

LOPES, R. dos S. et al. Avaliação de métodos para estimação da disponibilidade de forragem em pastagem de capim-elefante. **Revista Brasileira De Zootecnia**, 29(1), 40–47, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100006>

MOREIRA, M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.

OSBORN, L. **NDVI vs. NDRE: What's the Difference?**. 2022. Disponível em: <https://sentera.com/resources/articles/ndvi-vs-ndre-whats-the-difference/>

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Assessment of Piatã palisadegrass forage mass in integrated livestock production systems using a proximal canopy reflectance sensor. **European Journal of Agronomy**, 2019.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. **Zoneamento de aptidão climática para os capins Marandu e Tanzânia na região Sudeste do Brasil.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012.

PINTO, L. F. de M.; SILVA, S. C. da; SANT'ANNA, D. M. Fisiologia de plantas forrageiras aplicada em sistemas intensivos de pastejo no Rio Grande do Sul. In: **Anais…** I SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE PECUÁRIA DE CORTE, Porto Alegre, Brasil, 2015, UFRGS, p. 1-18.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto:** reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

QGIS. Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2023. http://qgis.osgeo.org

ROSALEN, D.L. Challenges of digital agriculture in pest management. In: Nascimento, J. et al. **Topics in Agricultural Entomology - XIII**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022. p. 123-133. ISBN 978-65-258-0544-3.

ROSALEN, D.L. Veículo aéreo não tripulado – VANT. In: BELARDO et al. **Processos Agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p. 589-600. ISBN 978-85-646-8106-4.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. A UTILIZAÇÃO DE SENSORES COM RESOLUÇÃO MODERADA (MODIS) NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO ARAGUARI

– MG. **Sociedade & Natureza**, Vol. 17, núm.33, pp.91-104, 2005.

ROUSE, J. W et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974. 371p. Type III, Final Report.

SALMAN, A. K. D.; SOARES, J. P. G.; CANESIN, R. C. **Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2006. 6 p. (Embrapa Rondônia. Circular Técnica, 84).

SILVA, S. C.; CUNHA, W. F. Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2003, vol. 38, nº 8, p. 981-989