



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

MARCO ANTONIO SILVA

**MONITORAMENTO DE PASTAGEM DE BRAQUIÁRIA POR IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO E SATÉLITE**

RECIFE – PE

2021

MARCO ANTONIO SILVA

**MONITORAMENTO DE PASTAGEM DE BRAQUIÁRIA POR IMAGENS DE VEÍCULO
AÉREO NÃO TRIPULADO E SATÉLITE**

Orientador: Prof. Dr. Héilton Pandorfi
Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE – PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586m Silva, Marco Antonio
MONITORAMENTO DE PASTAGEM DE BRAQUIÁRIA POR IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO E SATÉLITE / Marco Antonio Silva. - 2021.
134 f. : il.
- Orientador: Heliton Pandorfi.
Coorientador: Ricardo Brauer Vigoderis.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, Recife, 2021.
1. agropecuária digital. 2. comportamento e identificação animal. 3. geoprocessamento. 4.
sensoriamento remoto. 5. variabilidade espacial. I. Pandorfi, Heliton, orient. II. Vigoderis, Ricardo Brauer,
coorient. III. Título

MARCO ANTONIO SILVA

**MONITORAMENTO DE PASTAGEM DE BRAQUIÁRIA POR IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO E SATÉLITE**

Dissertação defendida a Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 27/04/2021.

Orientador:

Prof. Dr. Héilton Pandorfi (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Examinadores:

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Profa. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis (Co-orientador)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE)

RECIFE – PE

2021

DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho a minha esposa Pollyanna e a meu filho Victor Hugo,
pelo apoio e compreensão em todas as situações.**

**A minha mãe, minha avó e meu tio, Maria José, Maria da Glória e
José Edmundo, pela motivação, apoio e orientação.**

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a Universidade Federal Rural de Pernambuco, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola-UFRPE, ao professor Ênio Farias de França e Silva e a todos os professores e alunos do programa, pela oportunidade e conhecimentos adquiridos.

Aos Professores Dr. Héilton Pandorfi e Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida pela confiança, paciência, orientações e ensinamentos, que sempre contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço especialmente aos professores e colaboradores Dr. Alan César Bezerra, Dr. Fabrício Marcos Oliveira Lopes, MSc. Marcos Vinícius da Silva, Ma. Thayná Alice Brito Almeida e ao graduando em engenharia agrícola Flávio Cristiano Saldanha Ferreira de Oliveira por todos os ensinamentos e contribuições.

A todos os integrantes do GPESA (Grupo de Pesquisa em Ambiente), agradeço o acolhimento, as orientações e todos os momentos de trabalho e diversão.

A Adriel Sales Coutinho e Pedro Henrique Dias Batista, por todo o auxílio e companheirismo em todo o decorrer do mestrado.

A todos os funcionários da Fazenda experimental da UFRPE (Garanhuns), pela receptividade e auxílio e ao professor Hernande Pereira da Silva pelas orientações e colaborações.

A toda minha família (*In memoriam*: minha avó Maria de Glória e meu tio Jushon), a minha esposa Pollyanna Cavalcanti e ao meu filho Victor Hugo, também agradeço a meus amigos que sempre estão ao meu lado, na torcida, e que de alguma forma contribuíram com o sucesso do meu trabalho, Bruno Leonardo, Nicholas Araújo, Levy Franco, Rodrigo Bernardo (Drack), Fernando Pires, Thyago, Linda Inês, Daniela Fernandes, Pessoa, Michael, Marco Aurélio, Luizinho, Victor, Ewerton, Fifinho, Julyane Silva Mendes Polycarpo, Hebert Lima e Cássio Cleiton.

A Luciano Accioly e a todos da Embrapa Solos por todo conhecimento que me foi confiado.

A FACEPE pela concessão da bolsa para a realização do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
INTRODUÇÃO GERAL	1
HIPÓTESES	2
OBJETIVOS	2
Geral	2
Específicos	2
CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA	3
1.1 Manejo de pastagens	3
1.2 Características da braquiária	4
1.3 Degradação de pastagens	5
1.4 Fatores meteorológicos e suas influências sobre a pastagem	6
1.5 Agropecuária 4.0	8
1.6 Geoprocessamento/sensoriamento remoto no auxílio a gestão de pastagens	9
1.7 Aplicação de veículo aéreo não tripulado na agropecuária	10
1.7.1 Sensores/Câmeras	11
1.8 Geoestatística na agropecuária	12
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	13
CAPÍTULO II: Variabilidade espacial da resistência a penetração do solo e das variáveis biométricas da planta em sistema de pastejo rotacionado	23
RESUMO	23
ABSTRACT	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	26
Área de estudo	26
Variáveis Meteorológicas	32
Análise da variabilidade espacial e temporal dos dados	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	63

CAPÍTULO III: Monitoramento espaço-temporal de um sistema de pastejo rotacionado por meio de imagens de veículo aéreo não tripulado e satélite	69
RESUMO	69
ABSTRACT	70
INTRODUÇÃO.....	71
MATERIAL E MÉTODOS	72
Área de estudo	72
Variável Meteorológica	74
Variáveis biofísicas da forragem e do solo	74
Imageamento por VANT usando câmera RGB.....	77
Análise dos parâmetros biofísicos por componentes principais.....	79
Monitoramento da atividade dos animais.....	80
Grau de degradação da pastagem	81
Dados orbitais.....	83
RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
Análise dos parâmetros biofísicos e dos índices de vegetação por componentes principais ...	85
Monitoramento da atividade dos animais.....	98
Grau de degradação da pastagem	101
Índices de vegetação com informações orbitais (imagens de satélite)	105
CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.	27
Figura 2. Croqui da área de monitoramento do pasto (50 m x 50 m) em malha regular.....	29
Figura 3. Material para coleta de massa fresca da parte aérea.....	30
Figura 4. Sonda de percussão para coleta de amostra de raiz; peneira de 2,00 mm para remoção do solo; coleta em campo da amostra de raiz	31
Figura 5. Instalação do datalogger modelo HOBO Pro DataloggersHB8; estação meteorológica automática instalada na unidade de monitoramento	34
Figura 6. Variação média da temperatura de bulbo seco (Tbs; °C) e da umidade relativa do ar (UR; %) no piquete, ao longo do período experimental.....	38
Figura 7. Variação média do índice de temperatura e umidade (ITU) no piquete, ao longo do período experimental	39
Figura 8. Variação média da entalpia (h; KJ Kg-1) no piquete, ao longo do período estudado	40
Figura 9. Distribuição pluviométrica durante o período de estudo (06/08 a 26/10).....	41
Figura 10. Diagrama de caixa das variáveis altura de dossel (Aldt), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem).	42
Figura 11. Diagrama de caixa das variáveis índice de área foliar (IAF), massa seca da raiz (MSR) e resistência do solo a penetração (RP) antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem).....	42
Figura 12. Semivariogramas experimentais ajustados aos modelos matemáticos referente a entrada e após a saída dos animais do piquete na 1ª Passagem em agosto.....	47
Figura 13. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e de resistência do solo a penetração, antes da entrada dos animais no piquete (1ª passagem - agosto)	50
Figura 14. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e de resistência do solo a penetração, após a saída dos animais no piquete (1ª passagem - agosto).....	51
Figura 15. Diagrama de caixa das variáveis altura de dossel (Aldt), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem).....	52
Figura 16. Diagrama de caixa das variáveis índice de área foliar (IAF), massa seca da raiz (MSR) e resistência do solo a penetração (RP) antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem).	53

Figura 17. Semivariogramas experimentais ajustados aos modelos matemáticos referente a entrada e após a saída dos animais do piquete na 1ª Passagem em agosto.....	57
Figura 18. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e da resistência do solo a penetração, antes da entrada dos animais no piquete (3ª passagem - outubro)	60
Figura 19. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e da resistência do solo a penetração, depois da saída dos animais do piquete (3ª passagem - outubro)	61

CAPÍTULO III

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.	73
Figura 2. Croqui da área de monitoramento do pasto (50 m x 50 m) em malha regular.....	74
Figura 3. Sonda de percussão para coleta de amostra de raiz; peneira de 2,00 mm para remoção do solo; coleta em campo da amostra de raiz	76
Figura 4. Ciclo de pastejo e período de imageamento da área de estudo.....	78
Figura 5. Microcontrolador com GPS e bateria de alimentação; coleira de couro com microcontrolador fixado no animal	81
Figura 6. Componentes principais 1 e 2 das variáveis biométricas da pastagem, índice de área foliar (IAF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), densidade de forragem (DF), massa seca da raiz (MSR), resistência do solo a penetração (RP) e dos índices de vegetação adquiridos pelo espectro do visível antes e após a entrada dos animais no piquete, no decorrer do período de monitoramento.	89
Figura 7. Equação de ajuste para o índice de área foliar (IAF) ajustado para a região do visível (RGB)	91
Figura 8. Imagens da área de pastejo durante todo o período de estudo (06/08 a 15/11/2019)	92
Figura 9. Distribuição espaço temporal do Normalized green red difference index (NGRDI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019	93
Figura 10. Distribuição espaço temporal do Green Leaf Index (GLI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019	95
Figura 11. Distribuição espaço temporal do Visible atmospherically resistant index (VARI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019	96
Figura 12. Relação da distribuição espaço temporal do índice VARI e da densidade de Kernel gerada a partir do GPS acoplado nos animais nos períodos de 06/08 a 26/10/2019	99
Figura 13. Análise espaço temporal do índice de degradação da pastagem (IDP) nos limites da área experimental	104

Figura 14. Imagens composição cor verdadeira nas datas 13/08 a 15/11/2019	106
Figura 15. Distribuição espaço temporal do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) nos períodos de 13/08 a 15/11/2019	107
Figura 16. Distribuição espaço temporal do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) nos períodos de 13/08 a 15/11/2019	109
Figura 17. Distribuição espaço temporal do índice de área foliar nos períodos de 13/08 a 15/11/2019.....	110

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis biométricas e de resistência do solo a penetração (RP) antes da entrada dos animais no piquete e após a primeira passagem dos animais (agosto).	43
Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis biométricas e de resistência do solo a penetração (RP) antes da entrada dos animais no piquete e após a terceira passagem dos animais (outubro).	54

CAPÍTULO III

Tabela 1. Índices de vegetação aplicados no estudo que compreendem o espectro do visível.	79
Tabela 2. Sistema de índices de avaliação, critérios e classificação do monitoramento de sensoriamento remoto de degradação da pastagem na fazenda experimental da UFRPE em Garanhuns-PE.	82
Tabela 3. Índice de avaliação integrada de degradação de pastagem na fazenda experimental da UFRPE em Garanhuns-PE.	83
Tabela 4. Características das bandas espectrais do MSI Sentinel-2 utilizadas no presente trabalho.....	84
Tabela 5. Índices de vegetação aplicados no estudo que compreendem as bandas multiespectrais.....	84
Tabela 6. Componentes principais (PC1 e PC 2) dos parâmetros biofísicos da pastagem, resistência a penetração do solo e dos índices de vegetação aplicados no espectro do visível.	86
Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão.	90

Tabela 8. Classificação e quantificação dos pontos distribuídos no piquete de acordo com o índice Cobertura Vegetal da Pastagem (CVP).	102
Tabela 9. Classificação dos pontos distribuídos no piquete de acordo com o índice Cobertura Vegetal da Pastagem (CVP).....	103

MONITORAMENTO DE PASTAGEM DE BRAQUIÁRIA POR IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO E SATÉLITE

RESUMO: Essa pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a interação bovinos-ambiente pastoril e a eficiência do uso de veículo aéreo não tripulado, associado a obtenção de imagens por satélite para o monitoramento da pastagem. Na primeira etapa desse estudo foi realizada medições e coletas para avaliação das variáveis biométricas da pastagem e de resistência a penetração do solo. Para que fosse possível a realização do acompanhamento espacial e temporal foi aplicado técnicas geoestatísticas gerando mapas de krigagem, determinando a variabilidade das variáveis em estudo dentro da área de pastejo. A segunda etapa buscou avaliar o uso de imagens de satélite e de veículo aéreo não tripulado (VANT) para o monitoramento da pastagem, para isso, foi utilizado índices de vegetação tanto no espectro do visível (Normalized Green Red Difference Index - NGRDI, Green Leaf Index - GLI e o Visible Atmospherically Resistent Index - VARI), como os índices na faixa do infravermelho próximo (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI e Índice de Área Foliar - IAF). As variáveis apresentaram classificação entre baixa e média variabilidade. As variáveis da 1ª passagem, AltD, MSPA, RP (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m), e da 2ª passagem MSPA, MSR (0,10-0,20 m) e RP (0,00-0,10m) se adequaram aos modelos matemáticos exponencial e esférico, e apresentaram forte dependência espacial em todo o período de experimento, com ressalva para a variável RP (0,00-0,10 m), após a saída dos animais, que mostrou grau de dependência espacial médio de 34,89%. O índice de degradação da pastagem (IDP), entre a 1ª passagem em agosto e a 2ª passagem em setembro apresentaram decréscimo da vegetação na ordem de 97%. O índice VARI apresentou intervalos mínimos e máximos, entre -0,207 e 0,200. O IAF obteve valores máximo e mínimo na ordem de 3,00 e 0,00, valores próximos ao encontrado *in loco* onde os valores máximo e mínimo encontrados foram de 3,60 e 0,60.

Palavras-chave: agropecuária digital, comportamento animal, geoprocessamento, identificação animal, sensoriamento remoto, variabilidade espacial

BRACHIARIA PASTURE MONITORING BY IMAGES OF UNIMPROVED AIR VEHICLE AND SATELLITE

ABSTRACT: This research was carried out with the objective of evaluating the interaction between cattle and pastoral environment and the efficiency of the use of unmanned aerial vehicle, associated with obtaining satellite images for monitoring pasture. In the first stage of this study, measurements and collections were performed to evaluate the biometric variables of the pasture and resistance to soil penetration. In order to make it possible to perform spatial and temporal monitoring, geostatistical techniques were applied, generating kriging maps, determining the variability of the variables under study within the grazing area. The second stage sought to evaluate the use of satellite images and unmanned aerial vehicle (UAV) for the monitoring of pasture, for this, vegetation indices were used both in the visible spectrum (Normalized Green Red Difference Index - NGRDI, Green Leaf Index - GLI and the Visible Atmospherically Resistant Index - VARI), as the indices in the near infrared range (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI and Leaf Area Index - IAF). The variables were classified between low and medium variability. The variables of the 1st pass, AltD, MSPA, RP (0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m), and the 2nd pass MSPA, MSR (0.10-0.20 m) and RP (0.00-0.10m) adapted to the exponential and spherical mathematical models, and showed strong spatial dependence throughout the experiment period, with the exception for the variable RP (0.00-0.10 m), after the output of the animals, which showed an average degree of spatial dependence of 34.89%. The pasture degradation index (IDP), between the 1st pass in August and the 2nd pass in September, showed a decrease in vegetation in the order of 97%. The VARI index showed minimum and maximum intervals, between -0.207 and 0.200. The IAF obtained maximum and minimum values in the order of 3.00 and 0.00, values close to those found in loco where the maximum and minimum values found were 3.60 and 0.60.

Keywords: precision livestock, animal behavior, geoprocessing, animal identification, remote sensing, spatial variability

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil destaca-se na pecuária leiteira, ocupando a quarta colocação no ranking mundial de produção de leite (EMBRAPA, 2018; MAPA, 2011). Costa et al (2015) reforça a importância do setor na geração de emprego no país. Na região do Agreste Meridional pernambucano a pecuária leiteira é uma das principais bases econômicas da região, composta pelas indústrias de laticínios que produzem em grande escala, com a participação de agricultores de pequeno porte, que ao se unirem, alcançam grandes volumes de leite, contribuindo com mais de 25% da produção estadual de leite (Barbosa, 2018).

A forma mais econômica para obtenção de alimento para os animais é o uso da pastagem (Ferreira & Ferreira, 2018; Paula et al., 2020), porém, Borghi et al. (2018) enfatizam que grandes áreas de pastejo encontram-se com algum grau de degradação, essa situação é fator limitante ao crescimento da pecuária de leite, afetando sua sustentabilidade e produtividade (Almeida et al., 2018; Ribatski et al., 2019).

A pecuária vem buscando a modernização de seus métodos, por meio de tecnologias que auxiliam na gestão das pastagens. Contudo, apesar dos avanços, o Brasil carece de mais estudos que busquem viabilizar tecnologias que estejam de acordo com as várias realidades encontradas em todas as regiões do país.

Diante dessa necessidade, algumas pesquisas têm buscado identificar as problemáticas encontradas no campo, a fim de adequar o manejo de acordo com a realidade local. Rocha Junior e Silva (2013), identificaram que o manejo inadequado dos animais sobre pastejo e a deficiência nutricional no solo foram as principais causas da degradação de pastagem; já Pulido et al. (2018), Gabbi et al. (2017) e Sales Baptista et al. (2016) relacionaram o pisoteio animal, os fatores climáticos locais, o manejo dos animais e a compactação do solo, como as principais causas de degradação da pastagem. Von Müller et al. (2017) e Crawford et al. (2019), abordaram sobre a seletividade dos animais e seu pastejo heterogêneo, resultando em possíveis locais mais degradados do que outros.

O monitoramento automático dos animais em pastejo e do próprio pasto, para identificar e delimitar áreas de preferência e o uso de imagens oriundas de veículos aéreos não tripulados (VANT) e satélite são formas eficientes de monitoramento das

áreas de pastagem, permitindo ao produtor buscar soluções de acordo com suas especificidades (Serrano et al., 2018; Moral et al., 2019; Silva et al., 2018).

Devido a carência de informações sobre o manejo dos animais na região Agreste de Pernambuco e suas associações com novas tecnologias, este estudo buscou analisar as interações das diversas variáveis (biométricas da planta, espacialização dos animais na área de pasto e variáveis meteorológicas) aos principais recursos tecnológicos de monitoramento de pastagens, como a utilização de VANT e imagens de satélites.

HIPÓTESES

A interação bovinos-ambiente pastoril poderá identificar áreas super ou subpastejadas e sua influência nos atributos biofísicos que desencadearia a degradação da pastagem.

O processamento das imagens provenientes do veículo aéreo não tripulado, equipado com câmera RGB, será capaz de gerar informações satisfatórias para a avaliação e acompanhamento da situação da pastagem, possibilitando a identificação de padrões e generalização comparada as imagens de satélite.

OBJETIVOS

Geral

Objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a interação bovinos-ambiente pastoril e a eficiência do uso de veículo aéreo não tripulado, associado a obtenção de imagens por satélite para o monitoramento da pastagem.

Específicos

Nesse contexto, os objetivos específicos foram:

- Mapear e analisar a variabilidade espacial dos indicadores biométricos e de resistência do solo a penetração da área de pasto submetido ao pastoreio de bovinos;
- Estimar a disponibilidade de forragem para os animais, por meio de índices de vegetação oriundos do processamento de imagens digitais adquiridas pelos veículos aéreos não tripulados e imagens de satélite;

- Avaliar a interação do posicionamento dos animais com o índice de vegetação obtido por imagem RGB sobre a área de pastejo;
- Comparar o potencial dos diferentes índices de vegetação da região do visível para a detecção das mudanças na cobertura vegetal;
- Analisar temporalmente e espacialmente os mapas da cobertura vegetal, para identificação de possível degradação do pasto.

CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Manejo de pastagens

O animal em pastejo é parte de um complexo sistema de produção, pois possui relação direta com a fisiologia e a estrutura das plantas forrageiras de forma a inter-relacionar todos os elementos do ambiente, solo, planta e condições meteorológicas, portanto, trata-se de interações dinâmicas (Maraschin, 1986).

De acordo com Ribatski et al. (2018) os sistemas de produção utilizados são o de uso intensivo e refere-se ao total confinamento do animal, o semi-intensivo, onde há o uso do confinamento animal e do pastejo de forma controlada, utilizando-se o pastejo rotacionado e a produção extensiva é caracterizada pela exploração de grande extensão de área e pouco ou nenhum tipo de uso de insumos e tecnologia.

A American Forage and Grassland Council constituiu um comitê em 1989, a fim de uniformizar algumas terminologias utilizadas em pesquisas com pastagens, com isso, o termo mais adequado para terminologias como pastejo contínuo, pastejo intermitente e pastejo rotacionado, foram substituídos pelo termo lotação, contínua, intermitente e rotacionada. De acordo com Smetham (1995) o termo “pastejo contínuo” sugere que os animais estariam continuamente pastejando a mesma planta.

Com relação ao manejo Ribatski et al. (2018) e Pedreira (2002) definem a lotação contínua como o método em que os animais possuem acesso irrestrito a toda área de pastoreio, não havendo subdivisões na área (piquetes) e também período de descanso da pastagem. Beetz (2006) comenta sobre a desvantagem da utilização desse método, pois como não há restrições para o animal, ele consome primeiro a planta mais palatável, não dando o devido tempo para sua recuperação, ocasionando a degradação.

A lotação rotacionada propõem em favorecer ao pasto tempo para sua recuperação, sendo necessário a divisão da área em piquetes para permitir o descanso de algumas áreas, enquanto outros piquetes estão sendo ocupados pelos animais. O breve tempo de pastejo possibilitará que a vegetação não se esgote, permitindo o acúmulo de reservas nas raízes e na base dos colmos das plantas, além do maior controle sobre pragas e números de animais por área. (Sorio, 2008; Lima, 2017).

O Pastoreio Racional Voisin (PRV) apresenta-se como uma prática de grande potencial sustentável, este tipo de manejo prioriza a produção com o mínimo de adubo e defensivos sintéticos, este método pode ser preferencialmente aplicado na pecuária leiteira, que além de gerar rentabilidade ao produtor, protege a biodiversidade dos ecossistemas e não geram impactos negativos ao meio ambiente (Almeida et al., 2011).

De acordo com Monteiro (2009) o comportamento ingestivo dos ruminantes mantidos a campo diferencia-se dos que estão em confinamento, devido ao tempo de alimentação a pasto ser superior pelo fato dos animais terem a necessidade de percorrer longas áreas. Contudo, o gasto de energia e as intempéries climáticas e geográficas são fatores determinantes na produção animal.

Salviano et al. (2004) aplicando dois tipos de manejo (contínuo e rotacionado) no desenvolvimento de bovinos com o objetivo de determinar o efeito de diferentes taxas de lotação, obteve como resposta um ganho de peso dos animais na aplicação do pastejo contínuo com o menor valor de taxa de lotação.

Gomide (2016) descreve o pastejo rotacionado como vantajoso devido a intensificação na produção forrageira, tornando-se possível aumentar a taxa de lotação dos animais, o que proporciona a pequenos produtores uma maior produção diária de leite, além da otimização da área da propriedade.

1.2 Características da braquiária

Os capins do gênero *Brachiaria* possuem cerca de 90 espécies, originária da África Equatorial (Ghisi, 1991). De acordo com Karia (2006) desde a década de 1960, as braquiárias são as mais utilizadas em pastos brasileiros, estão entre as mais importantes para a pecuária mundial, com maior expressão nas regiões equatoriais e

subtropicais. A *Brachiaria decumbens* é caracterizada como uma espécie perene, prostrada de folhas lanceoladas, pilosas ou esparsamente pilosas, radicante nos nós inferiores e com rizomas muito curtos e encurvados, crescimento decumbente que pode alcançar até 1 m de altura (Karia, 2006; Crispim e Branco, 2002; Silva, 2017 e Paciullo et al., 2016).

Em geral, não tolera condições de encharcamento periódico ou permanente do solo, requer precipitação acima de 800 mm, não tolerando secas superiores a quatro meses, sendo conhecida como opção para áreas de baixa fertilidade. Um outro fator limitante se refere a temperaturas abaixo de 15°C. É importante o uso de adubação fosfatada no período de plantio para suprir a necessidade de fósforo pela gramínea durante o início de seu desenvolvimento, entre 70 e 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅. Sua produção anual de forragem varia entre seis a doze toneladas de matéria seca ha⁻¹, dependendo da fertilidade natural do solo ou da adubação utilizada. Contudo, mesmo quando a produção é baixa, consegue cobrir o solo, evitando gastos com limpeza da pastagem para retirada de invasoras (Paciullo et al., 2016)

A *Brachiaria decumbens* pode ser utilizada para pastejo de lotação contínua ou rotacionada, sendo comumente utilizada em condição de lotação contínua. Para lotação contínua, deve-se manter a vegetação com 30 cm de altura. Para pastejo rotacionado, a entrada dos animais deve ser com 30-35 cm de altura e a saída quando a altura da forragem for reduzida para 20 cm. (Paciullo et al., 2016)

1.3 Degradação de pastagens

No Brasil, estima-se uma área de pastagem em 101 milhões de ha, onde 85% dessa área é ocupada por brachiaria (Barbosa, 2006). O uso sustentável das áreas de pastagem tem sido uma questão de grande discussão e relevância, isso se deve aos níveis de degradação verificados por meio da necessidade de um manejo mais eficiente, que possa ser relacionado aos fatores edafoclimáticos da localidade (Abdon et al., 2009; Andrade et al., 2013; Kichel et al., 2012).

Pastagens degradadas interferem diretamente na produção animal, já que o pasto é a principal fonte de alimento do gado, com isso, a defasagem do pasto em situação de degradação pode chegar a até seis vezes em comparação a uma pastagem em bom estado (Macedo et al., 2000; Dias-Filho et al., 2015).

Nogueira (2018) elenca diversos motivos nos quais podem influenciar e acentuar o nível de degradação na pastagem, sendo esses variados de acordo com cada bioma, assim sendo, podem ser relacionadas excessos ou carências pluviométricas, baixa fertilidade do solo, drenagem insuficiente dos solos, além de fatores como pragas, doenças e práticas inadequadas de pastejo e manejo.

Marchão et al. (2007) relaciona a degradação as condições do solo, as condições edafoclimáticas do local, a taxa de lotação animal, a massa de forragem disponível e a espécie forrageira utilizada no sistema. Além disso, alguns autores destacam a necessidade do monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos, para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas produtivos (Vecchio et al., 2018; Ferreira et al., 2018; Cirilo Silva et al., 2017; Bortolini et al., 2016; Bonini et al., 2016; Sandhag e Hofmann et al., 2015).

Autores como GAO et al. (2006) investigaram e indicaram uma classificação quanto aos níveis de degradação das pastagens no norte do Tibet. Dias-Filho (2017) sugeriu uma classificação composta por quatro níveis de degradação de forma a facilitar a compreensão da degradação em território brasileiro.

Autores como Parente e Maia (2011) e Marchão et al. (2009) relacionam o impacto do pisoteio animal sobre a compactação do solo, apresentando esta variável como agente causador da degradação do pasto. Bayat et al. (2017) relaciona como um bom indicador de restrição ao crescimento radicular a resistência a penetração do solo (RP).

A RP é quantificada de acordo com o número de impactos contabilizados pelo penetrômetro, onde a cada dm^{-1} é transformado em resistência dinâmica (Mpa) (Stolf, 2014). Os valores de resistência a penetração auxiliam o entendimento da influência do pisoteio animal com a capacidade de recuperação da pastagem, já que o desenvolvimento radicular está diretamente ligado ao desenvolvimento da parte aérea da planta.

1.4 Fatores meteorológicos e suas influências sobre a pastagem

De acordo com Santos Jr. et al. (2004) a produção da pastagem está diretamente ligada a fatores ambientais como temperatura, luminosidade e umidade, corroborando com Reis et al. (2005) que comenta sobre a relação entre a planta, o

solo, o manejo e os fatores climáticos como variáveis de influência sobre a qualidade e a quantidade de forragem.

Dentre as variáveis ambientais a temperatura é a que tem maior potencial sobre a qualidade da forragem, segundo Buxton & Fales (1994), a temperatura influencia diretamente na maturidade das plantas e em gramíneas tropicais, há uma compensação quanto a sua menor amplitude térmica aumentando a taxa de crescimento relativo. Alencar et al. (2010), ao avaliarem composição bromatológica e a digestibilidade *in vitro* em diferentes gramíneas tropicais, observaram aumento da produção de massa seca no período da primavera/verão, onde as temperaturas eram mais elevadas, no entanto, este incremento quantitativo resultou em perdas qualitativas das gramíneas estudadas.

A luminosidade é um fator crucial para a realização da fotossíntese das plantas, convertendo a energia física da luz solar em energia química (Santos et al., 2011). A planta para captação da radiação depende de sua área foliar, geometria e tamanho da folha, arranjo das plantas, assim como a posição solar e época do ano (Varlet-Grancher et al., 1989). Lima Santos (2009) utilizando o capim Tanzânia, analisou o comportamento do índice de área foliar na altura de entrada no pré-pastejo, apontando o potencial da plasticidade da planta em modificar a estrutura do dossel para que fosse possível manter a captação da radiação de forma eficiente.

De acordo com Castro et al. (2009) a digestibilidade das plantas em um pasto apresenta forte interação com a estação do ano. No verão, onde os dias são mais longos, os autores observaram que a *Brachiaria decumbens* apresentou melhor digestibilidade em condições de sol pleno.

Os efeitos de restrições hídricas variam de acordo com seu grau, a severas restrições promovem a paralisação do crescimento e morte da parte aérea da planta e limita a produção animal, tanto em razão da baixa qualidade quanto da disponibilidade da forragem. As restrições hídricas mais leves induzem a redução da velocidade de crescimento das plantas (Reis & Rodrigues, 1993).

O estudo realizado por Magalhães (2010) avaliou o efeito de diferentes lâminas de irrigação nas características estruturais e composição bromatológica *Andropogon gayanus* cv. Planaltina e da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, de forma a observar uma redução no crescimento das gramíneas quando submetidas a uma menor lâmina

de irrigação, quanto a produção total de massa seca não houve influência quanto aos tratamentos. Devido à alta taxa de evapotranspiração da pastagem, a água mostra-se como um grande fator limitante da produção vegetal (Tieszen & Detling, 1983).

Com relação ao conforto térmico ideal para vacas leiteiras Pereira (2005) estabelece para bovinos mestiços como zona termoneutra a faixa entre 5 a 31°C, para os índices de temperatura e umidade (ITU) Lima et al., (2007), indicam que valores iguais ou menores que 75 é característico de uma situação normal, 75 a 78 uma situação de alerta, 79 a 83 situação de perigo e valores iguais ou acima de 84 situação de emergência.

O aumento demasiado da temperatura influencia diretamente no consumo dos animais (Wes, 2003). Como forma de remediar, faz-se necessário prover maiores áreas de sombras naturais e/ou artificiais (Barbosa et al., 2004; Cruz et al., 2011). Roever et al. (2015) observaram que os bovinos têm o hábito de pastejar principalmente em áreas próximas a água, porém, quando a disponibilidade de água era esgotada, os animais priorizaram a busca por forragem em locais próximos as áreas de sombra.

1.5 Agropecuária 4.0

A agropecuária de precisão é uma forma de gestão eficiente, que visa suprir o dinamismo espaço-temporal e analisar de forma conjunta todos os fatores que contribuem para variabilidade da produção, proporcionando melhor direcionamento dos insumos e conseqüentemente, mitigar os impactos ambientais (Bernardi et al., 2017; Inamasu et al., 2011; Baseca et al., 2019).

O constante apelo do mercado para uma produção sustentável estimulou o setor a implementar tecnologias digitais como sensores e máquinas (O'Malley et al., 2020; Boursianis et al., 2020). A automação na produção animal é realizada de forma a controlar e monitorar o ambiente, as condições fisiológicas e comportamentais, assim como a identificação de animais e o auxílio no controle alimentar e reprodutivo (Edan et al., 2009; Paiva et al., 2016).

Aplicados a gestão de pastagens em sistemas de integração com componentes animal e forragem, trabalhos como os de Schellberg et al. (2008), Bernardi & Perez

(2014) e Bernardi et al. (2016) apresentam o potencial do uso da agropecuária de precisão.

A FAO (2018) enfatiza a importância da utilização de sensores e outras ferramentas digitais, pois, essas ferramentas podem ser associadas a outras tecnologias, como o caso do monitoramento do bem-estar animal e do monitoramento da área de pasto, utilizando sensores acoplados a satélites e VANT's (Klerkx et al., 2019).

As geotecnologias podem ser consideradas as inovações precursoras das tecnologias disruptivas mais conhecidas no campo (Sausen et al., 2021). A aplicação das geotecnologias se deve ao uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que propõem combinar três diferentes tipos de geotecnologias distintas, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS) e o geoprocessamento, com ampla contribuição nos estudos ambientais e para uma agricultura cada vez mais eficiente e eficaz (Dias et al., 2019).

Em suma, a agropecuária 4.0 pode ser definida como o emprego de métodos refinados, os quais podem ser a computação de alto desempenho, a rede de sensores, a comunicação máquina para máquina, a conectividade entre dispositivos móveis, a computação em nuvem, os métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados e por meio dos dados obtidos, construir sistemas de suporte a tomada de decisões de manejo. A integração da automação, robótica agrícola, manipulação de bigdata e o uso de internet das coisas são exemplos de aplicações tecnológicas que visam elevar os índices de produtividade de forma a reduzir custos, melhorar a qualidade e salubridade dos trabalhadores e diminuir os impactos ao meio ambiente (Massruhá et al., 2017).

1.6 Geoprocessamento/sensoriamento remoto no auxílio a gestão de pastagens

Dado que a sustentabilidade e o desenvolvimento do setor agropecuário estão atrelados a um pasto de qualidade, técnicas para uma constante avaliação e um eficiente monitoramento é de grande importância, diante disso, as tecnologias de satélites orbitais são ferramentas indicadas para o acompanhamento de áreas com média ou grande extensão, em diferentes épocas de estudo. Para realização da gestão por meio desta técnica, utilizam-se índices de vegetação adaptados de acordo

com o produto que se deseja analisar, como exemplos há o Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI), a Cobertura Vegetal de Pastagem (CVP) e o Índice de Área Foliar (IAF) (Ferreira & Ferreira, 2018; Silveira et al., 2018; Holt et al., 2018; Santos et al., 2018; Lopes et al., 2017; Serrano et al., 2019; Sha et al., 2018; Themistocleous et al., 2014).

O uso das imagens de satélite caracteriza-se por ser um meio não destrutivo de aquisição de informações, alguns satélites dispõem gratuitamente vários produtos com resoluções espaciais diferentes (nível de detalhamento do objeto na superfície terrestre), temporais (capacidade de revisita de um satélite sobre um mesmo local da terra) e radiométricas (as imagens geradas por sensores eletrônicos recebem uma quantidade de luz e codificando em informação digital, em forma de números, para quantificar o volume de luz recebido durante um dado período de exposição ao objeto alvo), necessitando do usuário apenas identificar o que melhor lhe atende e qual banda espectral deve ser utilizada para aplicação dos índices de vegetação (Crabbe et al., 2020; Serrano et al., 2017; Peng et al., 2018; Lopes et al., 2017; Skidmore & Pettoirelli, 2015).

1.7 Aplicação de veículo aéreo não tripulado na agropecuária

No Brasil, segundo a legislação vigente (Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10), veículo aéreo não tripulado (VANT) é o termo oficial previsto pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo, designado para conceituar o veículo aéreo operado por controle remoto ou de forma autônoma, por meio de software.

Os VANT's estão entre as tecnologias emergentes de maior aceitação, isso se deve a facilidade de obtenção desse recurso e o vasto emprego de operações agropecuárias, dentre as principais vantagens de utilização do VANT estão a obtenção de imagens com alta resolução temporal e espacial (Moutinho, 2015; Shi et al., 2016; Walter et al., 2017; Higgins et al., 2019; Alvarez-Vanhard et al., 2020). Várias pesquisas estão sendo realizadas buscando o aprimoramento dessa tecnologia, de forma a gerar informações úteis em um menor período de tempo e com menor custo, possibilitando acelerar as tomadas de decisões (Ribatski et al., 2018).

Trabalhos como o de Themistocleous (2017), Sánchez et al. (2015), Wigmore et al. (2019), Xian & Tian (2011), Tejada et al. (2013), Dugo et al., (2013), Ruiz et al.,

(2013) e Zahawi et al., (2015) utilizaram o VANT em temas diversificados, sendo elas a identificação da vegetação, do solo, hidrologia, topografias, análise de vegetação após aplicação de herbicidas, detecção de pragas, monitoramento de florestas, manejo da irrigação e estresse hídrico nas plantas, respectivamente.

Na agropecuária, destaca-se as análises de Roberts et al. (2018) em que foi classificado e monitorado a mudança de vegetação observando a contribuição do manejo para a deterioração do pasto. Yang et al. (2018) observaram a relação da disponibilidade de forragem com a pecuária e o sobrepastoreio, indicando este último como a principal causa da degradação das pastagens no Condado de Madoi. Felix et al. (2017), realizaram o mapeamento da cobertura vegetal a partir de imagens de alta resolução obtidas pelo VANT, este trabalho encontrou dificuldade de distinção para os diferentes tipos de vegetação ao utilizar índices de vegetação no visível e em comparação com sensores modificados (com infravermelho) e multiespectrais, esses últimos, possibilitaram uma classificação adequada da área.

No entanto, de acordo com Gitelson et al. (2002) é possível analisar a vegetação utilizando apenas as bandas do visível, calculando-se o índice VARI (índice de vegetação resistente à atmosfera na região do visível), estimulando desde os pequenos até os grandes produtores a uma postura conservacionista.

1.7.1 Sensores/Câmeras

Os sistemas de sensoriamento remoto são compostos por múltiplos sensores (multiespectral), que registram a energia em inúmeras bandas do espectro eletromagnético, cada um com um filtro específico de alta qualidade, para captação de diferentes faixas do espectro. Utilizados para o registro de imagens por varredura, sensível a faixa do visível, infravermelho e ultravioleta (Jensen, 2009).

O sistema de cores RGB (Red, Green and Blue) está presente em todas as câmeras fotográficas convencionais e, inclusive na câmera do celular, com sensibilidade na faixa do visível, tendo como resultados objetos ou cenas em suas cores reais.

De acordo com Lamparelli et al., (2004) as plantas emitem e refletem radiação eletromagnética (assinatura espectral) e por meio de sensores eletromagnéticos é possível analisar o comportamento espectral do alvo (da planta). Determinados

comprimentos de onda geram informações sobre os estádios de desenvolvimento e vigor da planta permitindo a gestão da vegetação.

Ao analisar a assinatura da vegetação verde pode-se comparar os sensores com banda no visível e o comportamento na banda infravermelha, no sensor RGB é captado uma menor reflectância produzida por pigmentos da folha (clorofila, xantofila e carotenos), havendo uma maior distinção entre o estado da vegetação (saudável ou seca) na banda G. A faixa do infravermelho próximo capta uma maior reflectância, ou seja, é possível distinguir com mais detalhes a interação da radiação com a estrutura celular superficial da folha, isso se deve a relação do comprimento de onda com a reflectância. (Steffen,2011)

1.8 Geoestatística na agropecuária

Wani et al. (2017) indica o uso da geoestatística como uma ferramenta de eficiente determinação da variabilidade espacial, para isto, a técnica fundamenta-se em funções matemáticas e estatísticas relacionadas a interpolação de dados. Esta técnica prevê pontos desconhecidos baseados na autocorrelação de uma estrutura espacial de pontos.

Dessa forma, para realização do acompanhamento e análise do comportamento dos aspectos biofísicos da pastagem e do solo, faz-se necessário o uso da geoestatística, devido ao seu grande potencial para predição de dados com alta variabilidade (Brito et al., 2018).

Com o uso da geoestatística é possível modelar e estudar a estrutura de dependência espacial das variáveis da planta, por meio do ajuste de semivariogramas experimentais. Os semivariogramas permitem representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, dividido em três parâmetros, alcance, patamar e efeito pepita, que pode ser ajustado nos modelos, exponencial, esférico e gaussiano (Manziona & Zimback, 2011).

A partir dos resultados amostrais é possível gerar mapas, por meio de métodos (algoritmos) de interpolação. O método mais aplicado é a krigagem, o que possibilita a expressão da dependência espacial das variáveis estudadas. Com a obtenção dos semivariogramas, utiliza-se as amostras vizinhas para estimar valores em qualquer

posição no campo. O método de krigagem não usa tendência e tem mínima variação, o que o torna excelente para estimar a distribuição espacial (Moral et al., 2019).

Devido a estrutura dos dados de solo serem menos variáveis de acordo com o espaço tempo, muitos estudos utilizam informações do solo para relacionar com variáveis vegetativas como o trabalho realizado por Bernardi et al. (2014). Alguns autores se concentram em estudos mais aplicados ao comportamento do solo em áreas de pastejo, como exemplo, Batista et al. (2019), Guimarães et al. (2016), Brito et al. (2018) e Moral et al. (2019) os quais obtiveram resultados significativos, avaliando a variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens, indicando que tal conhecimento contribui para informações mais precisas para o planejamento e o manejo das pastagens.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Abdon, M.M.; Luciano, A.C.S.; Silva, J.S.V.; Oliveira, M.S. Classificação de pastagens degradadas nos municípios de Corguinho e Rio Negro, MS, utilizando fusão de imagens CBERS. **Geografia**, v.34, número especial, p.709-720, 2009.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). 2012A. Instrução Suplementar - IS Nº 21-002 Revisão A, 4 OUT 2012 (ANAC). Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/IS/2012/IS%2021-002A.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

Alencar, C. A. B. de; Oliveira, R. A. de; Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Cunha, F. F. da; Figueiredo, J. L. A.; Cecon, P. R.; Leal, B. G. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, p. 20-27. 2010.

Almeida, L. B. de; Costa, F; M; G; da; Panhoca, L.; Gomes, de A.; Robazza, W. da S. Práticas de controles gerenciais pelos produtores de leite no Oeste de Santa Catarina que adotam o método de Pastoreio Racional *Voisin* (PRV). **Custos e agronegócio online** - v. 7, n. 1, 2011.

Alvarez-Vanhard, E., Houet, T., Mony, C., Lecoq, L., & Corpetti, T. Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping?. **Remote Sensing of Environment**, v. 243, 2020.

Andrade, R. G., Rodrigues, C. A. G., Sanches, I. D., Torresan, F. E., & Quartaroli, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de

degradação de pastagens. **Revista engenharia na agricultura - REVENG**, v21, n3, p 234-243, 2013. <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i3.368>.

Barbosa, R.A. Morte de pastos de braquiárias. Campo Grande, **Embrapa Gado de Corte em livro científico**, p.206,2006.

Barbosa, V. V., Souza, W. M., Galvíncio, J. D., & Costa, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco–Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n. 2, p. 353-367, 2016.

Baseca, B. B.; Sendra, S. S.; Lloret, J.; tomas, J. A smart decision system for digital farming. **Agronomy, Basel**, v. 9, n. 216, p. 1-19, 2019.

Batista, P. H. D.; Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; Tavares, U. E.; Melo, A. A. S.; Guiselini, C. Spatial variability of soil physical-hydric attributes under bovine trampling in agreste of Pernambuco State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.41, 2019.

Bayat, H.; Sheklabadi, M.; Moradhaseli, M.; Ebrahimi, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, v.303, p.150-164, 2017.

Beetz, A. E.; Rinehart, L. Pastures: sustainable management. **Fayetteville: ATTRA**, 2006. 20 p.

Bernardes, T.F. Volumosos na Produção de Ruminantes. **Anais Funep Jaboticabal**, v.2, p 25-60.2005.

Bernardi, A. C. C.; Bettiol, G. M.; Ferreira, R. P.; Santos, K. E. L.; Rabello, L. M.; Inamasu, R. Y. Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. **Precision Agriculture**, v. 17, p.737-752, 2016.

Bernardi, A. C. de C.; Campana, M.; Bettiol, G. M.; Oliveira, P. P. A.; Inamasu, R. Y.; Rabello, L. M. Variabilidade espacial de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intensivo. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

Bernardi, A. C. de C.; Luchiari junior, A.; Perez, N.B.; Inamasu, R.Y. Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação. São Carlos, SP: **Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos**, 124, 2017.

Bernardi, AC de C.; Perez, Naylor B. Agricultura de precisão em pastagens. **Embrapa Pecuária Sul-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

Bonini, C. D. S. B.; Lupatini, G. C.; Andrighetto, C.; Mateus, G. P.; Heinrichs, R.; Aranha, A.S.; Santana, E. A. R.; Meirelles, G. C. Produção de forragem e atributos

químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1695-1698, 2016.

Bortolini, D.; Albuquerque, J. A.; Rech, C.; Mafra, Á. L.; Ribeiro Filho, H. M. N.; Pértile, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, p.60-67, 2016.

Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Goudos, S. K. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A Comprehensive Review. **Internet of Things**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>.

Brito, W. B. M.; Campos, M. C. C.; Mantovanelli, B. C.; Cunha, J. M.; Franciscon, U.; Soares, M. D. R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil and Tillage Research**, v.182, p.103-111, 2018.

Crawford, C. L.; Volenec, Z. M.; Sisanya, M.; Kibet, R.; Rubenstein, D. I. Behavioral and Ecological Implications of Bunched, Rotational Cattle Grazing in East African Savanna Ecosystem. **Rangeland Ecology & Management**. v.72, p.204-209, 2019.

Buxton, D. R.; Fales, S. L. Plant environment and quality. **Forage quality, evaluation, and utilization**, p. 155-199, 1994.

Castro, C. R. T.; Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. A. M.; Müller, M. D.; Nascimento jr., E. R. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.19-25. 2009.

Cirilo, B. E. S.; Medina, E. F.; Jolomba, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, p.66-75, 2017.

Crabbe, R. A., Lamb, D., & Edwards, C. Discrimination of species composition types of a grazed pasture landscape using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v 84,2020.

Crispim, S. M. A; Branco, O. D. Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS. **Embrapa Pantanal-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2002.

Da costa, J.A.A.; De queiroz, H.P. Régua de manejo de pastagens. **Embrapa Gado de Corte-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

Dias filho, M. B. Degradação de pastagens: o que é e como evitar. **Embrapa Amazônia Oriental-Folder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2017.

Dias-filho, M. B. Degradação de Pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação.4. Ed. Pará: Ed. do Autor, 2015.

Dias, N.O.; Martins, F.C.M.;Barros,K.O.Geotechnology applied to environmental diagnosis:Pinheiro Grosso Biological Reserve, Barbacena, MG – Brazil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 32, p. 116-129, 2020.

Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/45716/28235>.

Dugo, G. V.; Tejada, Z. P.; Nicolás, E.; Nortes, P. A.; Alarcón, J. J.; Intrigliolo, D. S.; Fereres, E. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. **Precision Agriculture**, v.14, p.660-678, 2013.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

FAO, 2018. **Status of Implementation of E-agriculture in Central and Eastern Europe and Central Asia – Insights from selected countries** in. Europe and Central Asia, Budapest.

Felix, F.C.; Avalos, F.A.P; Silva, M.L.N; Mincato, R.L.; Mapeamento da cobertura vegetal a partir de imagens de Alta resolução obtidas por VANT. **XVII Simpósio brasileiro de geografia física aplicada: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 5095-5105, 2017.

Ferreira, G.C.V.; Ferreira. J.A.N. Uso de geoprocessamento na avaliação de degradação de pastagem no assentamento da ilha do coco, Nova Xavantina-Mato Grosso, Brasil. **Revista engenharia na agricultura**, v.26, p. 140-148,2018.

Gao, Q.; Li, Y. E.; Wan, Y.; Lin, E.; Xiong, W.; Jiangcun, W.; Li, W. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. **Journal of Geographical Sciences**, v.16 p.165-173, 2006.

Ghisi, O.M.A.A. *Brachiaria* na pecuária brasileira: importância e perspectivas. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, v.2. Nova Odessa. **Anais Nova Odessa: Instituto de Zootecnia**, 356p. 1991

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D.; Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing Environmental**. 80, 76–87. 2002 [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

Gomide, C.A.M. Pastejo rotacionado. **Embrapa Gado de Leite-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2016.

Guimarães, W. D.; Junior, J. G.; Marques, E. A. G.; Santos, N. T.; Fernandes, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agrônômica**, v.47, p.247-255, 2016

Higgins, S.; Schellberg, J.; Bailey, J. S. Improving productivity and increasing the efficiency of soil nutrient management on grassland farms in the UK and Ireland using precision agriculture technology. **European Journal of Agronomy**, v. 106, p. 67-74, 2019.

Hott, G. M. C., Andrade, R. G., Hott, M. C., de Magalhães Junior, W. C. P. Monitoramento da cobertura verde e degradação de pastagens por meio de aplicativo mobile. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.1, n.2, p. 352-361, 2018

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, p. 357- 410, 2009.

Karia, C. T.; Duarte, J. B.; De Araújo, A. C. G. Desenvolvimento de cultivares do gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb no Brasil. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

Kichel, A. N.; Costa, J. A. A.; Almeida, R. G. Vantagens da recuperação e renovação de pastagens degradadas com a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária. **Revista Agro & Negócios**, v.11, p.48-50, 2012.

Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v.90, 2019.

Lajoie-O'Malley, A., Bronson, K., van der Burg, S., Klerkx, L. . The future (s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**, v.45, 2020.

Lamparelli, R.A.C.; Rocha, J.V.; Jaime, A.L.G. Correção radiométrica de imagens digitais aéreas para o efeito vinhete. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 56, n. 1, 2004.

Lima Santos, N.. Avaliação do capim-Tanzânia manejado com diferentes IAF residual sob lotação rotacionada por cabras Boer x Saanen. **Dissertação (Mestrado em Zootecnia)** – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal-SP, 74 p. 2009.

Lima, R. P.; Silva, A. P.; Giarola, N. F.; Silva, A. R.; Rolim, M. M. Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. **Biosystems engineering**, v.162, p.1-10, 2017.

Lopes, M., Fauvel, M., Ouin, A., & Girard, S. Spectro-temporal heterogeneity measures from dense high spatial resolution satellite image time series: Application to grassland species diversity estimation. **Remote Sensing**, v. 9, n.10, p.993,2017.

Macedo, M.C.M., Kicher, A.N., Zimmer, A.H. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens (**Comunicado técnico**). Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS,2000.

Magalhães, J. A. Características morfogênicas e estruturais, produção e composição bromatológica de gramíneas forrageiras sob irrigação e adubação. **Tese (Doutorado em Zootecnia)** – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, p.139 2010

Manziona, R. L.; & Zimback, C. R. L. Análise espacial multivariada aplicada na avaliação da fertilidade do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, p.227-235, 2011.

Maraschin, G. E. Sistemas de pastejo. **Congresso brasileiro de pastagens**.p.542, 1986.

Marchão, R. L.; Balbino, L. C.; Silva, E. M.; Santos Junior J. D. G.; SA, M. A. C.; Vilela, L.; Becquer, T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavourapecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

Marchão, R.L.; Vilela,L.; Paludo, A.L.; Guimarães jr.,R. Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no Oeste Baiano. **Embrapa Cerrados-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2009.

Massruhá, S. M. F. S.; Leite, M. A. de A., Agro 4.0 - rumo à agricultura digital. In: Magnoni Júnior, L.; Stevens, D.; Silva, W. T. L. da; Vale, J. M. F. do; Purini, S. R. de M.; Magnoni, M. da G. M.; Sebastião, E.; Branco Júnior, G.; Adorno Filho, E. F.; Figueiredo, W. dos S.; Sebastião, I. (Org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil**. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 28-35. il. Publicado também em: **Controle & Instrumentação**, ano 21, n. 235, p. 56-59, 2018.

Monteiro, P.B.S. COMPORTAMENTO INGESTIVO DE BUBALINOS EM PASTAGEM DE BRACHIARIA NA ZONA DA MATA SUL DE PERNAMBUCO. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2009.

Moral, F. J.; Rebollo, F. J.; Serrano, J. M. Estimating and mapping pasture soil fertility in a portuguese montado based on a objective model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.157, p.500-508, 2019.

Nogueira, S. F. A pecuária extensiva e o panorama da degradação de pastagens no Brasil. Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite. **Jornal Dia de Campo**. Disponível em:

<<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.aspx?id=28010&secao=Artigos%20Es>> Acesso em 02 Dez. 2020.

Paciullo, D. S. C.; Gomide, CA de M. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, p. 167-186, 2016.

Parente, H.N.; Maia, M.O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.5, n.3 2011.

Paiva, C. A. V.; Juntolli, F. V.; Carvalho, L. F. R.; Bernardi, A. C. de Paula, T., de Andrade Ferreira, M., & Vêras, A. S. C. Utilização de pastagens em regiões semiáridas: aspectos agrônômicos e valor nutricional – Revisão. **Arquivos do Mudi**, v.24, n.2, p. 140-162, 2020.

Pedreira, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 100-150, 2002.

Peng, Y., Fan, M., Song, J., Cui, T., & Li, R. Assessment of plant species diversity based on hyperspectral indices at a fine scale. **Scientific reports**, v.8, n.1, p.1-11, 2018.

Pulido, M.; Schnabel, S.; Lavado Contador, J. F.; Lozano-Parra, J.; González, F. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. **Land Degradation & Development**, v.29, p.219-230, 2018.

Reis, R. A.; Rodrigues, L. R. A. Valor nutritivo de plantas forrageiras. Jaboticabal, p.26,1993.

Reis, R.A., de Melo, G.M.P., Bertipaglia, L.M.A., Oliveira, A.P. Otimização da utilização da forragem disponível através da suplementação estratégica. In: Volumosos na produção de ruminantes, **Anais do simpósio sobre volumosos na produção de ruminantes**. p. 187-238, 2005.

Ribatski, E. O.; Santos F.S.; Nogara Neto, F.; Revisão sobre utilizações de RPAs no cenário agrícola Brazilian Journal of Technology, **Brazilian Journal of Technology**, v. 1, n. 2, p. 313-333,2018.

Ribeiro, O. L. Soil physical properties under a 'Tanzânia' grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.478-486, 2018.

Roberts, B. P.; Snooke, N.; Neal, M. J.; Bunting, P.; Fraser, M. D. Multispectral imagery from UAVs to classify and monitor vegetation change in semi-natural grasslands. In Sustainable meat and milk production from grasslands. Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation, Cork. **Teagasc, Animal & Grassland Research and Innovation Centre**, p.904-906, 2018.

Roever, C.L.; Delcurto, T.; Rowland, M.; Vavra, M.; Wisdom, M. Cattle grazing in semiarid forestlands: Habitat selection during periods of drought. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 3212–3225, 2015.

Ruiz, F. G.; Sankaran, S.; Maja, J. M.; Lee, W. S.; Rasmussen, J.; Ehsani, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.91, p.106-115, 2013.

Sales Baptista, E.; D'abreu, M. C.; Ferraz Oliveira, M. I. Overgrazing in the Montado? The need for monitoring grazing pressure at paddock scale. **Agroforestry systems**, v.90, p.57-68, 2016

Salviano, L. M. C.; Oliveira, M. C. ;de Soares, J. G. G. ;Albuquerque, S. G. de Desempenho de bovinos em pastagem de caatinga sob diferentes taxas de lotação. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n 65, Embrapa Semi-Árido, 2004.

Sánchez, J. T.; Granados, F. L; Serrano, N.; Arquero, O.; Peña, J. M. High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. **PloS one**, V.10, e0130479, 2015.

Sandhage Hofmann, A.; Kotzé, E.; Van Delden, L.; Dominiak, M.; Fouché, H. J.; Van der Westhuizen, H. C.; Oomen, R. J.; du Preez, C. C.; Amelung, W. Rangeland management effects on soil properties in the savanna biome, South Africa: A case study along grazing gradients in communal and commercial farms. **Journal of Arid Environments**, v.120, p.14-25, 2015.

SANTOS, N.L.; AZENHA, M.V.; SOUZA, F.H.M.; REIS, R.A.; RUGGIERI, A.C.; Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.7, n.13; p. 531-549, 2011.

Santos, P. S., Ferreira, L. G., & Lenzi, Í. L. C. (2018). Caracterização biofísica das pastagens na bacia hidrográfica do rio vermelho (go), bioma cerrado, brasil. **Boletim de Geografia**, v.36, n.3, p.53-73,2018.

Sausen, Darlene et al. Agrotecnologias disruptivas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 6, n. 2, p. 41-68, 2021.

Serrano, J.; Shahidian, S.; Marques da Silva, J. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. **Water**, v.11, p.62-82, 2019.

Sha, Z.; Wang, Y.; Bai, Y.; Zhao, Y.; Jin, H.; Na, Y.; Meng, X. Comparison of leaf area index inversion for grassland vegetation through remotely sensed spectra by unmanned aerial vehicle and field-based spectroradiometer. **Journal of Plant Ecology**, p.1-14, 2018.

Shi, Y.; Thomasson, J. A.; Murray, S. C.; Pugh, N. A.; Rooney, W. L.; Shafian, S.; Rajan, N.; Rouze, G.; Morgan, C. L. S.; Neely, H. L.; Rana, A. Unmanned aerial vehicles for highthroughput phenotyping and agronomic research. **PloS one**, v.11, 2016.

Silveira, T. A.; Pereira, F. C.; D' Andrea, A. F.; Sousa, F. A. S. Use of vegetation indices to estimate the live biomass loss in the Picuí municipality. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. v. 8, n.1, p. 1-13, 2018.

Skidmore, A. K., & Pettorelli, N. Agree on biodiversity metrics to track from space: Ecologists and space agencies must forge a global monitoring strategy. **Nature**, v.523, n.7561, p. 403-406, 2015.

Smetham, M.L. The management of pastures for grazing. **Outlook on Agriculture**, v.24, n.3, p.167-177, 1995.

Sorio, A. Sustentabilidade nos sistemas de produção de bovinos Visão administrativa sobre o método Voisin **Revista da política agrícola Ano XVII**, n. 2 ,2008.

Steffen, C.A. Introdução ao sensoriamento remoto. INPE 2011. <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> acessado em 24/02/2021 as 08:30

Stolf, R.; Hiroshi Murakami, J.; Brugnaro, C.; Silva, L. G.; Ferreira da Silva, L. C.; Correia Margarido, L. A. Penetrômetro de impacto stolf-programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.774-782, 2014.

Tejada, Z. P. J.; Dugo, G. V.; Williams, L. E.; Suárez, L.; Berni, J. A.; Goldhamer, D.; Fereres, E. A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. **Remote sensing of environment**, v.138, p.38-50, 2013.

Themistocleous, K. The use of UAVs for monitoring land degradation. In Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications. **International Society for Optics and Photonics**, v.10428, 2017.

Themistocleous, K.; Papadavid, G.; Christoforou, M.; Agapiou, A.; Andreou, K.; Tsaltas, D.; Hadjimitsis, D. G. Use of remote sensing and UAV for the management of degraded ecosystems: the case study of overgrazing in Randi Forest, Cyprus. **International Society for Optics and Photonics**, v.9229, 2014.

Tieszen, L.L.; Detling, J.K. Productivity of grassland and tundra. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Ziegeler, H. Encyclopedia of plant physiology. Ecosystem processes: mineral cycling, productivity and man's influence. **Springer-Verlag**. v.12 D. p. 173-203, 1983.

Varlet-grancher, C.; Gosse, G.; Chartier, M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, v.9, p.419-439, 1989.

Vecchio, M. C.; Golluscio, R. A.; Rodríguez, A. M.; Taboada, M. A. Improvement of Saline-Sodic Grassland Soils Properties by Rotational Grazing in Argentina. **Rangeland Ecology & Management**, v.71, p.807-814, 2018.

Von Müller, A. R.; Renison, D.; Cingolani, A. M. Cattle landscape selectivity is influenced by ecological and management factors in a heterogeneous mountain rangeland. **The Rangeland Journal**, v.39, p.1-14, 2017.

Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N. Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.114, n.24, p.6148-6150, 2017.

Wani, M. A.; Shaista, N.; Wani, Z. M. Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Bandipora District of Lesser Himalayas. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.45, p.611-620, 2017.

Wigmore, O.; Mark, B.; McKenzie, J.; Baraer, M.; Lautz, L. Sub-metre mapping of surface soil moisture in proglacial valleys of the tropical Andes using a multispectral unmanned aerial vehicle. **Remote Sensing of Environment**, v.222, p.104-118, 2019.

Xiang, H.; & Tian, L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). **Biosystems engineering**, v.108, p.174-190, 2011.

Yang, F.; Shao, Q.; Guo, X.; Tang, Y.; Li, Y.; Wang, D.; Wang, Y.; Fan, J. Effect of Large Wild Herbivore Populations on the Forage-Livestock Balance in the Source Region of the Yellow River. **Sustainability**, v.10, p.340-358, 2018.

Zahawi, R. A.; Dandois, J. P.; Holl, K. D.; Nadwodny, D.; Reid, J. L.; Ellis, E. C. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. **Biological Conservation**, v.186, p.287-295, 2015.

CAPÍTULO II: Variabilidade espacial da resistência a penetração do solo e das variáveis biométricas da planta em sistema de pastejo rotacionado

RESUMO: O Brasil ocupa posição de destaque internacional na pecuária de corte e leite, no entanto, ainda é significativa a negligência na incorporação de novas tecnologias que auxiliem os produtores no adequado manejo das pastagens, com influência direta na produção e qualidade da forragem, além de causar severos danos ambientais. Diante desse cenário, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a influência da resistência a penetração do solo nas variáveis biométricas da pastagem, *Brachiaria decumbens*, em um sistema de piquete rotacionado. O experimento foi conduzido de 06/08/2019 a 15/11/2019, na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada em Garanhuns-PE. Foi utilizado um piquete de 50 m x 50 m, com taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹, no período de 7 dias de ocupação e 28 dias de descanso. Na área do piquete foram registradas as variáveis biométricas da forragem, altura de dossel (m), massa fresca da parte aérea (kg), massa seca da parte aérea (kg), massa seca de raiz nas profundidades 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (kg), índice de área foliar e a resistência do solo a penetração (MPa) a 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. Para análise da variabilidade espacial dos dados, utilizou-se malha regular de 6 x 14 m, totalizando 32 pontos de amostragem. Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva e geoestatística. As variáveis apresentaram classificação entre baixa e média variabilidade. As variáveis da 1ª passagem, AltD, MSPA, RP (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m), e da 2ª passagem MSPA, MSR (0,10-0,20 m) e RP (0,00-0,10m) se adequaram aos modelos matemáticos exponencial e esférico, e apresentaram forte dependência espacial em todo o período de experimento, com ressalva para a variável RP (0,00-0,10 m), após a saída dos animais, que mostrou grau de dependência espacial médio de 34,89%.

Palavras-chave: forragem, geoestatística, interação bovinos-ambiente pastoril; krigagem

Spatial variability of soil penetration resistance and plant biometric variables in rotational grazing system

ABSTRACT: Brazil occupies an internationally prominent position in beef and dairy cattle, however, there is still a significant neglect in the incorporation of new technologies that assist producers in the adequate management of pastures, with direct influence on the production and quality of forage, in addition to cause severe environmental damage. Given this scenario, the objective of this research was to evaluate the influence of resistance to soil penetration in the biometric variables of the pasture, *Brachiaria decumbens*, in a rotated paddock system. The experiment was conducted from 06/08/2019 to 11/15/2019, at the Experimental Farm of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), located in Garanhuns-PE. A picket of 50 m x 50 m was used, with a stocking rate of 3.2 AU ha⁻¹, in the period of 7 days of occupation and 28 days of rest. In the paddock area, the biometric variables of the forage, canopy height (m), fresh mass of the aerial part (kg), dry mass of the aerial part (kg), dry root mass at depths 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m (kg), leaf area index and soil resistance to penetration (MPa) at 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m. To analyze the spatial variability of the data, a regular 6 x 14 m mesh was used, totaling 32 sampling points. The data were subjected to descriptive and geostatistical statistical analysis. The variables were classified between low and medium variability. The variables of the 1st pass, AltD, MSPA, RP (0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m), and the 2nd pass MSPA, MSR (0.10-0.20 m) and RP (0.00-0.10m) adapted to the exponential and spherical mathematical models, and showed strong spatial dependence throughout the experiment period, with the exception for the variable RP (0.00-0.10 m), after the output of the animals, which showed an average degree of spatial dependence of 34.89%.

Keywords: cattle-pastoral environment interaction; geostatistics, forage, kriging

INTRODUÇÃO

A pecuária de leite possui expressiva importância na economia mundial, caracterizada pela necessidade de adequação do manejo às características regionais e condições ambientais específicas na produção, associada a disponibilidade de técnicas e tecnologias direcionadas ao pequeno, médio e grande produtor (Steffens, 2018; FAO, 2019).

O Brasil detém o título de referência internacional na produção de bovinos, com um rebanho efetivo de 221,81 milhões de cabeças em 2018. O estado de Pernambuco abrange a quarta colocação entre os estados com maior rebanho na região Nordeste, com destaque para a Mesorregião Agreste, que tem a pecuária de leite como a atividade de maior importância do setor (ABIEC, 2018; FAO, 2019).

A pecuária intensiva, com a inserção de manejo adequado das pastagens, em sistema de piquetes rotacionado, preserva áreas de matas pela menor necessidade de abertura de novas áreas, o que proporciona maior equilíbrio entre os fatores econômicos, sociais e ambientais, com ênfase no atendimento das exigências do mercado, cada vez mais competitivo (Machado et al., 2020; Andrade et al., 2017).

No Brasil, a partir dos anos 70, houve um aumento das áreas de pastagens cultivadas com *Brachiaria decumbens*, sendo esta espécie a mais difundida no país, em que sua acentuada utilização se deve a boa capacidade de cobertura do solo e sua baixa exigência nutricional (Alvim et al., 2002).

A degradação das pastagens é uma problemática frequente para pecuária brasileira, que limita e em alguns casos inviabiliza a exploração comercial da bovinocultura (Dias-Filho, 2017). Carvalho et al. (2017) destacam a importância de um pasto bem manejado, pois, a pastagem é a principal fonte de alimento para o gado.

De acordo com Santos Jr. et al. (2004) os fatores ambientais são de extrema relevância para a reestruturação da vegetação pastoreada, a influência de variáveis como temperatura, radiação solar e índices pluviométricos constituem as devidas condições para a capacidade de produção do pasto.

É perceptível a vasta literatura sobre o desenvolvimento e produção da parte aérea da forragem, porém, a produção da parte aérea reflete o desenvolvimento radicular da planta, ou seja, fatores impeditivos ao desenvolvimento radicular prejudicam diretamente a produção de massa seca da parte aérea das plantas (Costa

& Queiroz, 2013; Giacomini et al., 2005; de Oliveira & Miroslava Rakocevic, 2003 e Wohlfahrt et al., 2001).

Muitos autores indicam o uso dos dados de resistência do solo a penetração como característica física qualitativa do solo, pois, com esta informação é possível verificar se o solo está compactado, logo, é um excelente indicador de restrição ao crescimento radicular (Da Silva et al., 2019; Bayat et al., 2017). Além de possibilitar o acompanhamento da interferência dos agentes causadores da compactação do solo no pasto, como é o caso do pisoteio animal (Pulido et al., 2018).

Devido a seletividade dos animais no pasto, o pastejo não é realizado de forma homogênea, havendo assim, algumas áreas mais propensas a compactação (Von Müller et al., 2017; Crawford et al., 2019). Dessa forma, o estudo da variabilidade espacial, por meio de métodos geoestatísticos podem auxiliar no processo de tomada de decisão por técnicos e produtores e, indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade espacial sobre a produção das culturas, como também, para estimar respostas sobre as condições de pastejo (Silva et al., 2004; Moral et al., 2019).

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o impacto da resistência do solo a penetração nas variáveis biométricas da pastagem, *Brachiaria decumbens*, em um sistema de piquete rotacionado.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns, Mesorregião do Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 58'S, longitude de 36° 27'W e altitude de 866 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como savana tropical (Aw) (Beck et al., 2018). A temperatura média anual varia de 20 a 22°C e a precipitação entre 751 a 1000 mm anuais (Azambuja & Côrrea, 2015), em que o período de maior índice pluviométrico está entre os meses de fevereiro e junho, se destacando este último como ápice do período chuvoso. Após o mês de junho, inicia-se o decréscimo deste índice, de agosto a setembro, como período de baixa pluviosidade, sendo que os meses entre outubro

e dezembro é caracterizado como de baixíssima ou nula precipitação (Barbosa et al., 2016). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2018) o solo do local é classificado como Argissolo Amarelo.

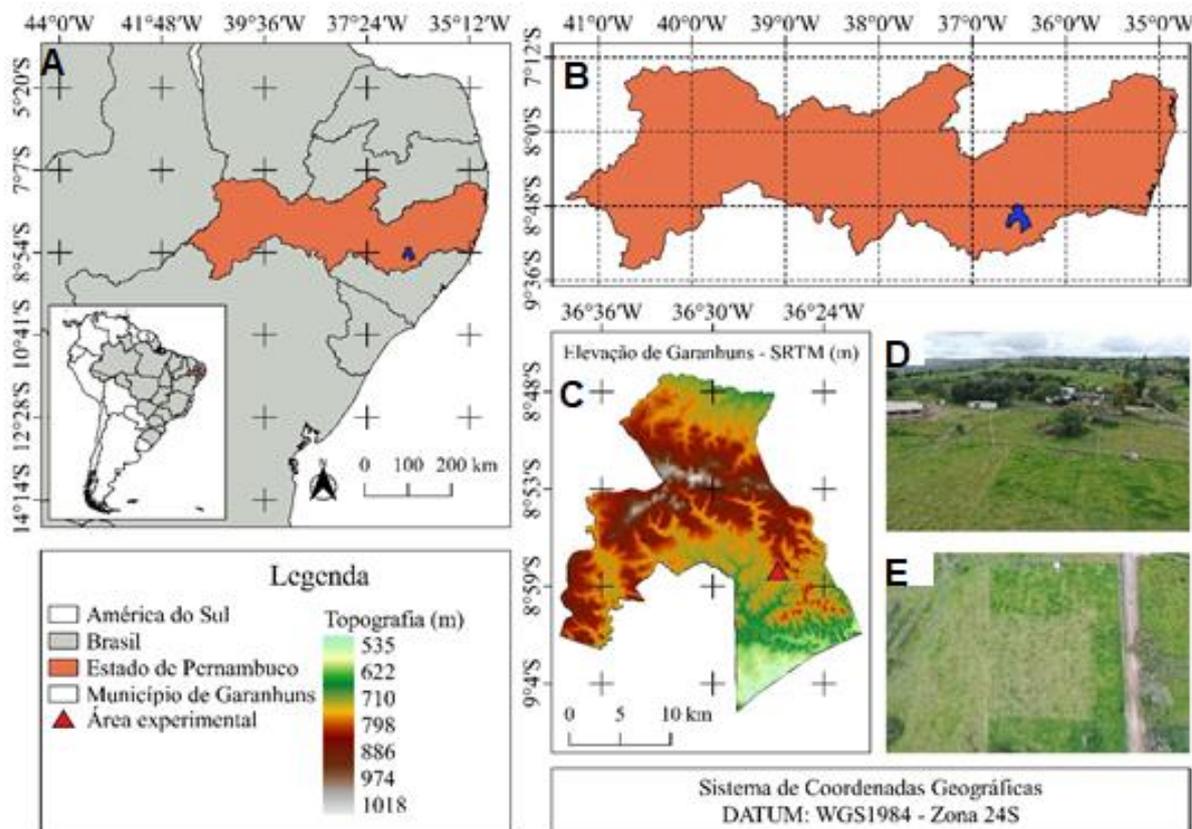


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no Brasil (A); Mapa de localização da área de estudo em Pernambuco (B); Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns-PE (C); Imagem RGB da Fazenda Experimental (D); Imagem RGB do local da área de estudo (E).

Os dados provenientes da pastagem foram registrados no período compreendido entre o primeiro e o terceiro ciclo de pastejo dos animais (06/08 a 13/08 e 15/10 a 26/10/2019), em piquete de 50 x 50 m, delimitado por cerca eletrificada, sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, utilizando pastejo rotacionado. Os períodos utilizados de ocupação e descanso do piquete foram de 7 e 28 dias, respectivamente.

O solo da área foi preparado com gradagem aradora antes do plantio, assim como, a fim de propiciar o correto manejo do pasto foi realizada a adubação prévia da área do piquete, onde aplicou-se 50 Kg de superfosfato simples, 37,5 Kg de cloreto de potássio e 37,5/16,88 Kg de ureia/nitrogênio.

Foram utilizadas quatro vacas Girolando, com taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹, com liberação dos animais no piquete quando o pasto alcançou em média 0,4 m de altura, valores próximos aos recomendados por Paciullo et al., (2016). Anexo ao piquete, ou seja, fora da área de pastagem, o sistema de contenção dos animais dispunha nas extremidades laterais, áreas para acesso ao bebedouro e outra à sombra (área de descanso) de livre acesso aos animais. A área de descanso foi composta por um cajueiro, *Anacardium occidentale*, de aproximadamente 12 m de altura, que disponibilizava para os animais uma área de sombreamento natural de aproximadamente 25 m² (Figura 2).

Na área do piquete foram registradas as variáveis biométricas da forragem e do solo, nos pontos de amostragem (Figura 2), a altura de dossel (m), a massa fresca da parte aérea (kg), a massa seca da parte aérea (kg), a massa seca de raiz (Kg) nas profundidades de 0,00-0,10 e de 0,10-0,20 m, o índice de área foliar e a resistência a penetração do solo a 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (MPa), utilizando malha regular de 6 x 14 m, totalizando 32 pontos de amostragem, em uma área de 42 x 42 m, excluindo-se a bordadura de 4 m de cada extremidade da área.

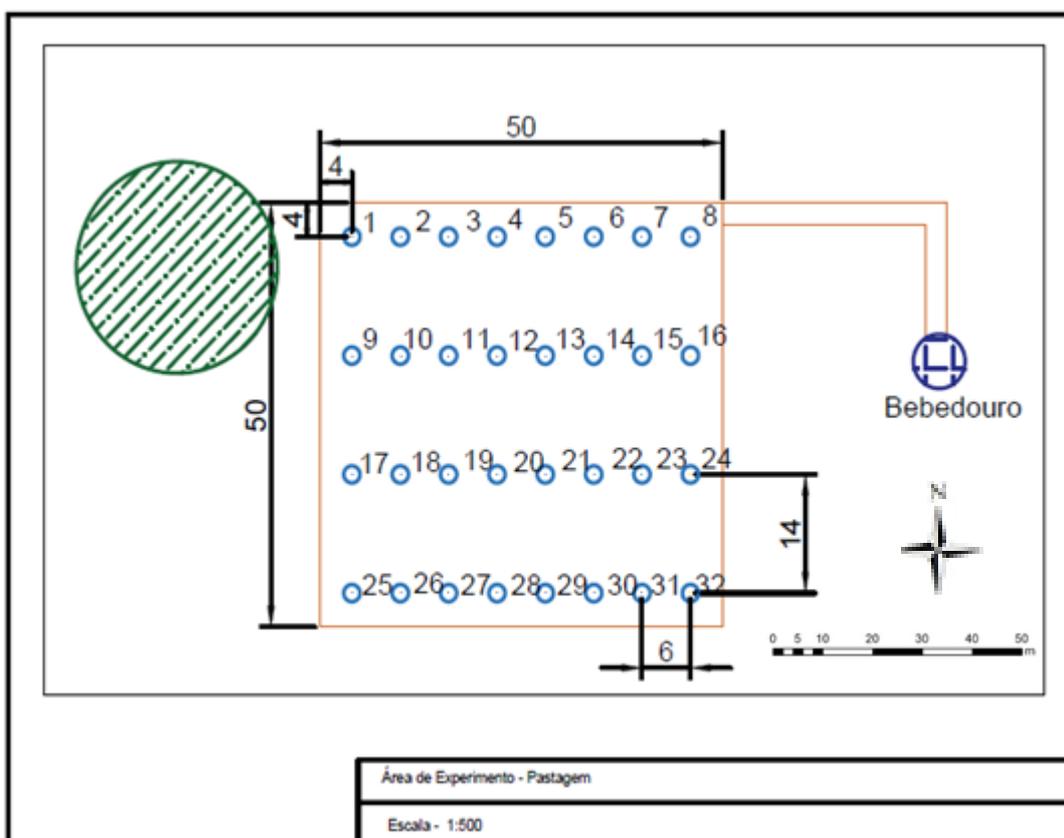


Figura 2. Croqui da área de monitoramento do pasto (50 m x 50 m) em malha regular (espaçamento entre linhas de 14 m, entre pontos de coleta de 6 m e com bordadura de 4 m); pontos de amostragens (○); área de descanso dos animais (///); localização do bebedouro (⊞).

A medição de altura do dossel (m) da forragem foi realizada por meio de trena graduada, posicionando a trena na curvatura da folha mais altas até o solo, de acordo com metodologia descrita por Coêlho (2016).

A massa fresca e seca da parte aérea foram obtidas a partir do corte da forragem à 5 cm do solo, com auxílio de uma tesoura de poda (Figura 3). Foi realizado o corte de toda forragem contida na área de 0,25 m², delimitada por um quadro amostrador de madeira, com dimensões de 0,50 x 0,50 m (Coêlho, 2016). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel kraft e pesadas em balança digital Elgin DP-3000 plus (precisão de 1 g) para obtenção da massa fresca (MF, kg), posteriormente, as mesmas amostras foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas e, em seguida, pesadas, para obtenção da massa seca (MS, kg).



Figura 3. Material para coleta de massa fresca da parte aérea, quadro amostrador e tesoura de poda (A); coleta da massa fresca da parte aérea (B).

A massa seca da raiz foi determinada em duas profundidades, de 0,00-0,10 m e de 0,10 - 0,20 m, coletadas por uma sonda de percussão para amostra de raiz (Figura 4). As amostras de solo foram lavadas com água corrente em peneira de 2,00 mm, para o descarte do solo e retenção das raízes (Silva et al., 2019). Após a lavagem, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel kraft e levadas a estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h e por fim, pesadas em balança semi-analítica Marte AD 330 (precisão de 0,001g) para obtenção da massa seca de raiz (kg).

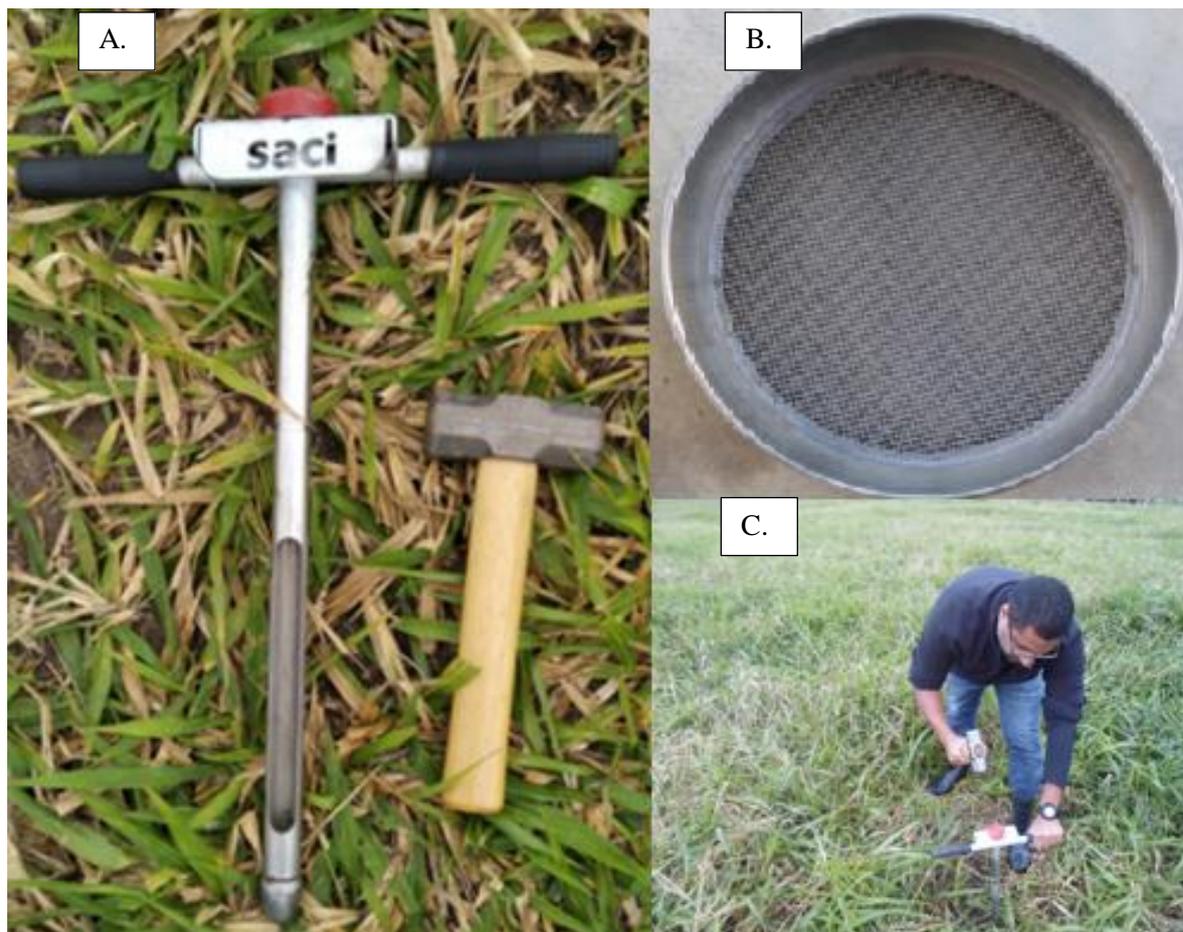


Figura 4. Sonda de percussão para coleta de amostra de raiz (A); peneira de 2,00 mm para remoção do solo (B); coleta em campo da amostra de raiz (C).

Para obtenção do índice de área foliar (IAF) foi utilizado o aplicativo Easy Leaf Area Free, por meio da metodologia recomendada por Easlon e Bloom (2014), que após calibração prévia, para melhor acurácia dos resultados, foi registrado imagens por câmera fotográfica com enquadramento da área do amostrador de 0,25 m².

O algoritmo utilizado para calcular os valores do IAF usa regressões lineares dessas relações, para estimar o limite mínimo ideal de G (Green), a razão G (Green) / R (Red) e a razão G (Green) / B (Blue), a partir dos pixels mais verdes da folha em uma imagem.

O algoritmo usa as seguintes equações (1, 2 e 3) para calcular os critérios de seleção automatizados:

$$\text{Limiar verde (G)} = 1,223 \times (\text{média do maior valor do verde (G)}) - 111 \quad (1)$$

$$G/R = 0,360 \times (\text{m\u00e9dia do maior valor do verde (G)/R}) + 0,589 \quad (2)$$

$$G/B = 0,334 \times (\text{m\u00e9dia do maior valor do verde (G)/B}) + 0,534 \quad (3)$$

A determina\u00e7\u00e3o da resist\u00eancia do solo \u00e0 penetra\u00e7\u00e3o (RP) foi realizada por meio de penetr\u00f4metro de impacto, modelo IAA/Planalsucar/Stolf, em que o n\u00famero de impactos dm^{-1} foi transformado em resist\u00eancia din\u00e2mica (MPa) por meio da Eq. (4) proposta por STOLF (1991).

$$RP = \frac{M + m + \left(\frac{M}{M + m} \times \frac{M \times h}{x} \right)}{A} \quad (4)$$

em que: RP - Resist\u00eancia do solo \u00e0 penetra\u00e7\u00e3o, kgf cm^{-2} ($\text{kgf cm}^{-2} \times 0,098 = \text{MPa}$);

M - Massa do \u00e2mbolo, 4 kg;

m - Massa do aparelho sem \u00e2mbolo, 3,2 kg;

h - Altura de queda do \u00e2mbolo, 40 cm;

x - Penetra\u00e7\u00e3o da haste do aparelho, cm por impacto;

A - \u00c1rea do cone, $1,29 \text{ cm}^2$.

Ap\u00f3s a determina\u00e7\u00e3o da resist\u00eancia do solo a penetra\u00e7\u00e3o, ela foi classificada como baixa ($RP < 0,1 \text{ MPa}$); intermedi\u00e1ria ($0,1 \leq RP \leq 2,0 \text{ MPa}$); alta ($2,0 < RP \leq 4,0$) e muito alta ($RP > 4,0 \text{ MPa}$) de acordo com recomenda\u00e7\u00e3o da Soil Science Division Staff (2017).

Vari\u00e1veis Meteorol\u00f3gicas

As vari\u00e1veis meteorol\u00f3gicas foram registradas por meio de uma esta\u00e7\u00e3o meteorol\u00f3gica autom\u00e1tica, instalada no local do experimento, Campbell Scientific modelo CR200X e na \u00e1rea de piquete, por meio de *dataloggers* modelo HOBO Pro *Dataloggers* HB8 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA), para obten\u00e7\u00e3o da temperatura do bulbo seco (Tbs; $^{\circ}\text{C}$) e da umidade relativa do ar (UR; %). O sensor

foi posicionado em abrigo meteorológico ao lado do piquete, a 1,50 m de altura do solo (Figura 5 A e B).

A caracterização térmica do local de registro das variáveis meteorológicas foi realizada por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) proposto por Thom et al. (1959) Eq. (5) e entalpia específica h (kJ kg^{-1} de ar seco) de acordo com Rodrigues et al. (2010) Eq. (6). Também foi realizado o registro da precipitação acumulada a cada período (PREC, mm), para destaque dos possíveis fatores meteorológicos de interferência na recuperação da pastagem.

$$\text{ITU} = T_{\text{bs}} + 0,36 \cdot T_{\text{po}} + 41,5 \quad (5)$$

em que: T_{bs} - Temperatura de bulbo seco, °C;

T_{po} - Temperatura de ponto de orvalho, °C.

$$h = 1,006 \cdot T_{\text{bs}} + \frac{\text{UR}}{P_{\text{atm}}} \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T_{\text{bs}}}{237,3 + T_{\text{bs}}}\right)} \cdot (71,28 + 0,052 \cdot T_{\text{bs}}) \quad (6)$$

em que: T_{bs} - Temperatura de bulbo seco, °C;

UR - Umidade relativa, %;

P_{atm} - Pressão atmosférica do local, mmHg.

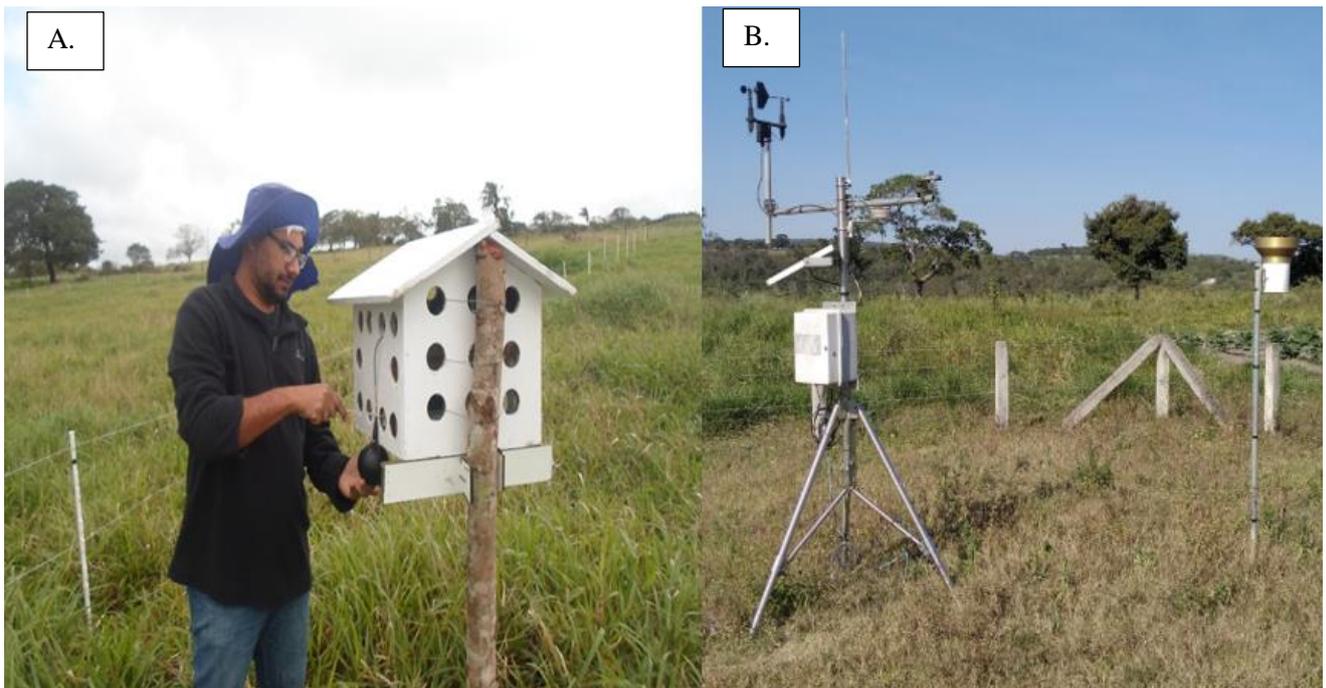


Figura 5. Instalação do datalogger modelo HOBO Pro DataloggersHB8 (A); estação meteorológica automática instalada na unidade de monitoramento (B).

Análise da variabilidade espacial e temporal dos dados

A primeira etapa da análise dos dados consistiu na observação de dados discrepantes (**outliers**), por meio do diagrama de caixa, seguindo as recomendações de Silva et al. (2019). Posteriormente, os dados foram submetidos à estatística descritiva por meio de avaliação de medidas de tendência central (média, mediana, máximo e mínimo), dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação), assimetria e curtose, em seguida aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 1% de probabilidade, para determinação da normalidade dos dados, conforme descrito por Bezerra et al. (2016).

De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980), em baixa ($CV \leq 12\%$); média ($12 < CV \leq 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$).

Para verificar a variabilidade espacial dos dados ao longo do tempo, os resultados foram analisados por meio de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas (Vieira, 2000). A dependência espacial foi avaliada por meio do semivariograma clássico, construído a partir da estimativa das semivariâncias, dada pela Eq. (7) (JOURNEL, 1989).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(X_i+h) - Z(X_i)]^2 \quad (7)$$

em que: $\hat{\gamma}(h)$ - é o valor estimado da semivariância dos dados experimentais;
 $Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ - são os valores observados da variável regionalizada;
 $N(h)$ - o número de pares de valores medidos, separados por uma distância h .

Os modelos geoestatísticos foram ajustados observando a variação espacial dos dados biofísicos e de resistência a penetração do solo, baseando-se no coeficiente de ajuste do semivariograma experimental (R^2), por meio do software GS+ versão 7.0 (Gamma Design Software).

De posse do semivariograma experimental, procedeu-se o ajuste dos dados a um modelo teórico, admitindo-se os modelos exponencial, gaussiano e esférico. O ajuste matemático possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), alcance da dependência espacial (A) e patamar (C_0+C_1). A seguir foram apresentados os três modelos teóricos considerados Eq. (8, 9 e 10).

- Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{A}\right)} \right] \quad h \neq 0 \quad (8)$$

- Modelo Gaussiano:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{h^2}{A^2}\right)} \right] \quad h \neq 0 \quad (9)$$

- Modelo Esferico:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A}\right)^3 \right] \quad 0 < h < A \quad (10)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h > A$$

Os modelos teóricos ajustados foram validados com o uso da técnica de validação cruzada (Jack-Knifing) pelo software GEOEAS (Englund & Sparks, 1991),

sendo o melhor ajuste quando os erros apresentaram a média próxima a zero e o desvio padrão próximo a 1 (Vauclin et al., 1983).

Para analisar o grau da dependência espacial utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que foram considerados a dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, >75%. Para as variáveis que não apresentaram dependência espacial, o mapeamento foi realizado utilizando o inverso da potência da distância (IDW), que realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos “n” pontos mais próximos (Di Piazza et al., 2011). No presente estudo, adotou-se a função do inverso de uma potência 2 da distância, ou seja, o Inverso Quadrado da Distância (IQD). Por fim, a krigagem ordinária permitiu visualizar por meio de mapas temáticos a distribuição espacial das variáveis analisadas, com auxílio do software Surfer 13 (Golden Software, 2002) possibilitando analisar espacialmente e temporalmente as informações adquiridas no pasto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 6 a variação média horária da temperatura de bulbo seco (Tbs, °C) e da umidade relativa do ar (UR, %) no decorrer do período experimental, para os três períodos de pastejo, primeira passagem pelo piquete (agosto), segunda passagem (setembro) e terceira passagem (outubro). A temperatura de bulbo seco apresentou valores mais elevados entre os horários das 10h00 e 16h00, com efeito inversamente proporcional para umidade relativa do ar.

Os valores indicados de temperatura de bulbo seco para bovinos de leite variam de acordo com muitos autores, como é o caso de Baeta & Souza (1997), com temperaturas entre 10,0 °C e 27,0 °C, Miranda & Freitas (2009), 5,0 °C a 31,0 °C e Nãas (1989), 4,0 °C a 24,0 °C, este último estabeleceu valores médios que abrangem os demais autores e com base nesses limites, verifica-se na Figura 6 que no mês de agosto, os valores de Tbs se apresentam na faixa recomendada em todo o período de pastejo, porém, em setembro, entre 12h00 e 17h00, os valores ficaram acima do recomendado e em outubro, das 9h00 às 18h00, os valores extrapolaram a faixa ideal de 24 °C.

Sob condições de estresse térmico os bovinos desencadeiam uma série de mecanismos para controlar sua temperatura (Moura et al., 2020), estas ações refletem em suas funções fisiológicas, que podem resultar, na diminuição da ingestão de matéria seca (Souza et al., 2007).

A faixa ideal da umidade relativa do ar, indicada por Silva (2000) apresenta-se entre 55 a 75%, pois, desta forma, os mecanismos evaporativos para perda de calor são facilitados. Valores elevados de umidade e temperatura do ar dificultam diretamente no fluxo de calor entre o animal e o ambiente (Sorensen,1964). Observa-se na Figura 6, que no mês de agosto (1ª passagem), os valores de umidade relativa do ar entre 10h00 e 18h00, se mantiveram dentro da faixa ideal recomendada; já em setembro (2ª passagem), ocorreram valores próximos a faixa ideal e em outubro (3ª passagem), no horário das 13h00 às 14h00, registrou-se valores que se adequaram a faixa indicada(figura 6), porém, excluindo-se os horários informados, no decorrer de todo o período os valores de umidade relativa do ar apresentaram-se acima do recomendado por Silva (2000).

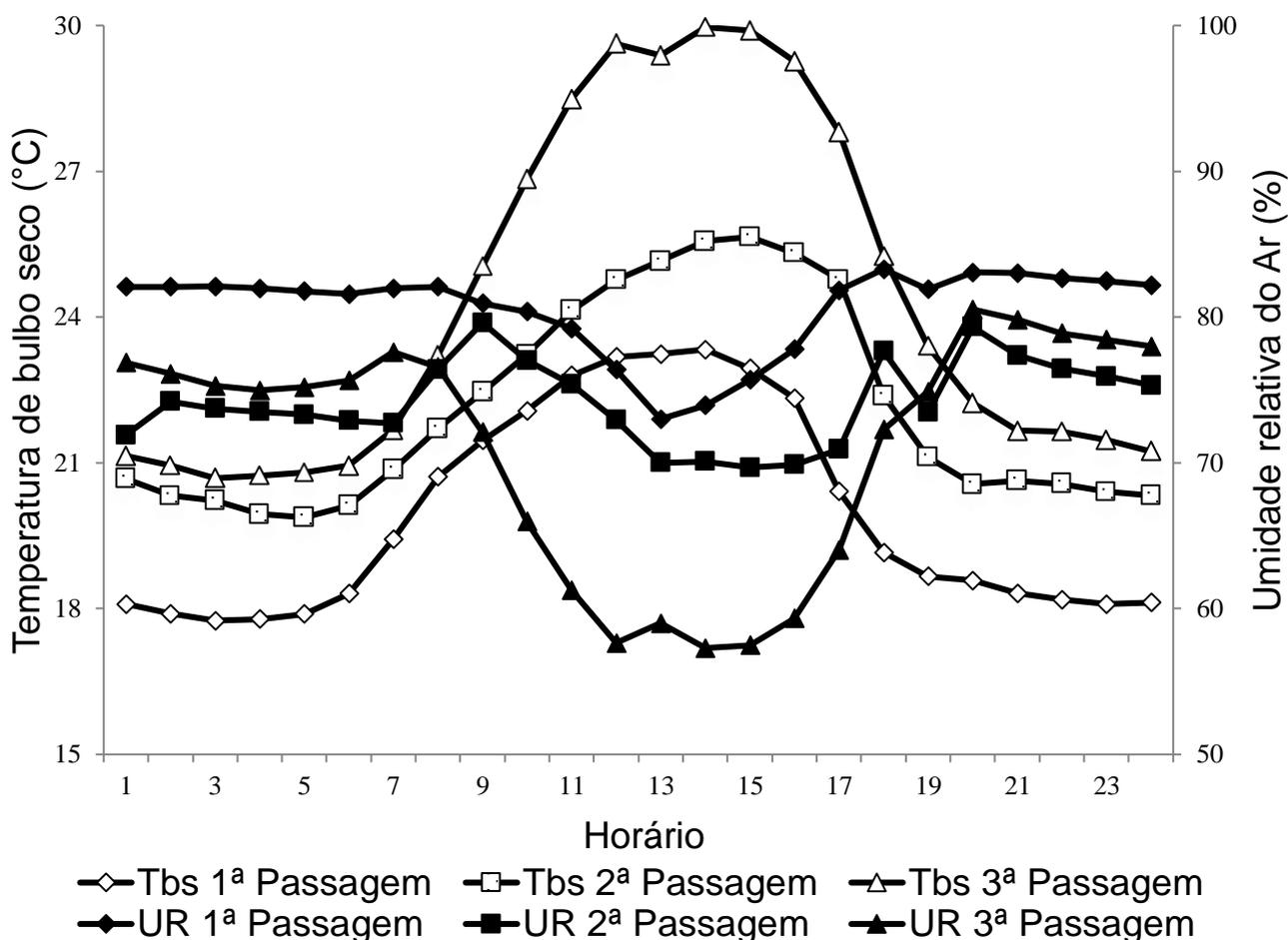


Figura 6. Variação média da temperatura de bulbo seco (Tbs; °C) e da umidade relativa do ar (UR; %) no piquete, ao longo do período experimental; Tbs 1ª Passagem referente ao mês de Agosto (◇); Tbs 2ª Passagem referente ao mês de Setembro (□); Tbs 3ª Passagem referente ao mês de Outubro (△); UR 1ª Passagem referente a Agosto (◆); UR 2ª Passagem referente a Setembro (■); UR 3ª Passagem referente a Outubro (▲).

A partir da Figura 7 é possível notar a variação do índice de temperatura e umidade, no decorrer dos períodos de pastejo, que conforme classificação de Armstrong (1994), tem-se o ITU entre 72 a 78 como ameno ou brando, 79 a 88 como moderado e 89 a 98 como severo. Na primeira passagem dos animais ao pasto a variação de valores de ITU mostraram um ambiente sem estresse por calor, isso ocorreu em agosto, por se tratar de um período mais ameno e com pluviosidade moderada. Na segunda passagem, os valores médios foram classificados como ameno, nos horários das 11h00 às 17h00, ocorreram os maiores valores de ITU, porém, não extrapolaram 78 unidades. O aumento da temperatura está ligado ao período de transição da estação úmida para a estação mais seca. Por fim, na última

passagem dos animais pelo piquete, no intervalo entre 9h00 e 18h00 foram registrados os maiores valores para o ITU, com pico observado entre às 12h00 e 15h00, classificado como moderado.

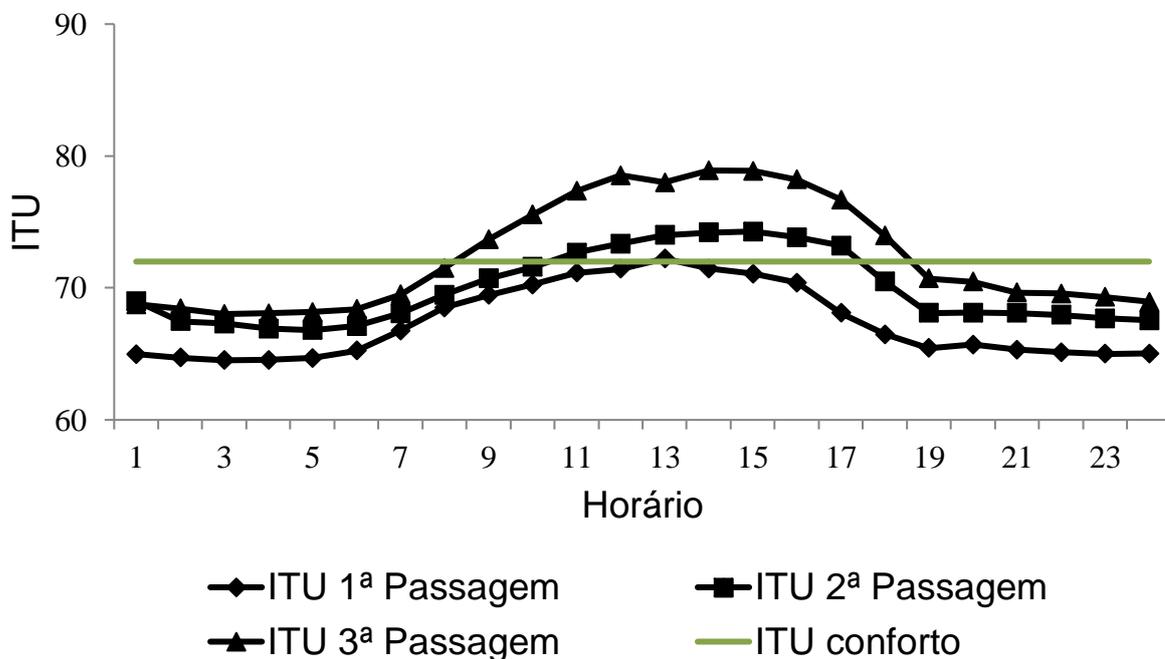


Figura 7. Variação média do índice de temperatura e umidade (ITU) no piquete, ao longo do período experimental; ITU 1ª Passagem referente a Agosto (—◆—); ITU 2ª Passagem referente a Setembro (—■—); ITU 3ª Passagem referente a Outubro (—▲—); Valor de ITU médio para conforto dos animais (—■—).

Os resultados corroboram os valores de ITU encontrados por Moura et al. (2019) para mesma região desta pesquisa. Silva et al. (2008) baseado nos valores de ITU entre 70 e 74, apontam a região de Garanhuns como o melhor local para a exploração leiteira no estado de Pernambuco.

A variação média da entalpia está representada na Figura 8, que de acordo com Almeida (2011) o limite crítico de entalpia é de $67,4 \text{ KJ kg}^{-1}$. No mês de agosto (1ª passagem) os valores de entalpia ficaram abaixo do limite estabelecido por Almeida (2011), já em setembro (2ª passagem) e outubro (3ª passagem) apresentaram valores acima da faixa limite, entre às 11h00 e 17h00 e, 9h00 e 18h00, respectivamente.

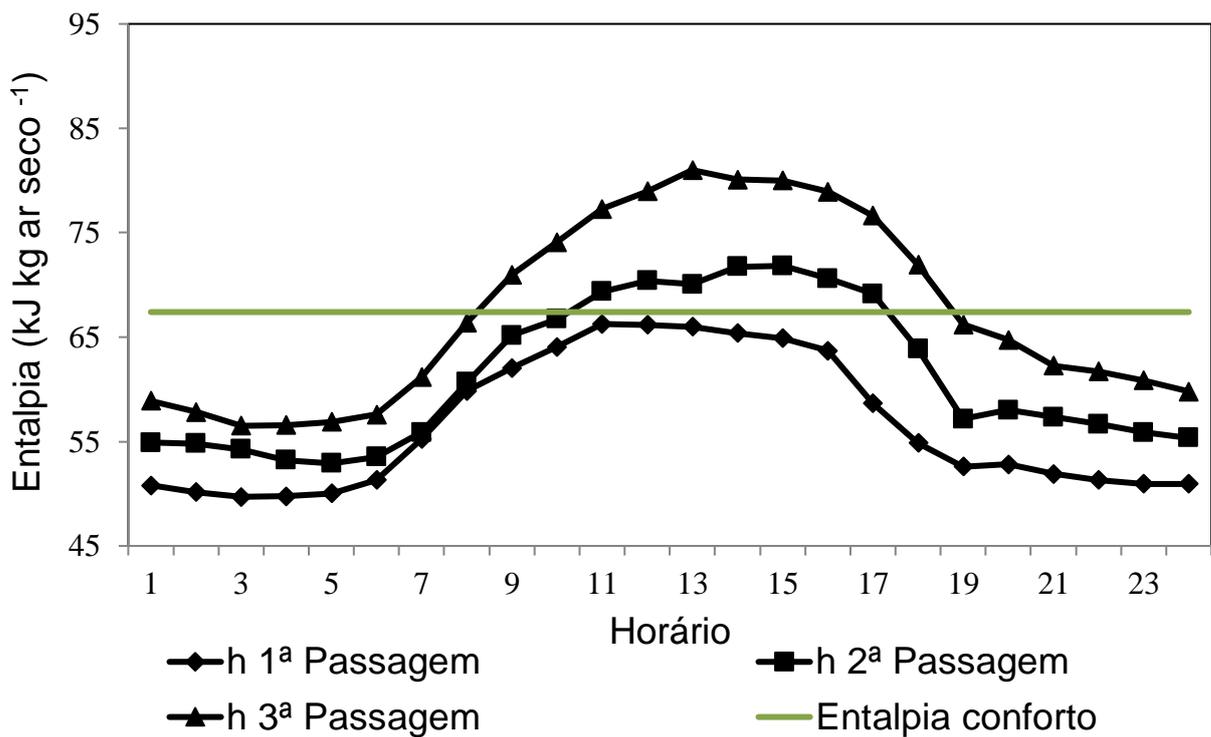


Figura 8. Variação média da entalpia (h; KJ Kg⁻¹) no piquete, ao longo do período estudado; h 1ª Passagem referente a Agosto (—◆—); h 2ª Passagem referente a Setembro (—■—); h 3ª Passagem referente a Outubro (—▲—); Valor de entalpia média para conforto dos animais (—).

Analisando o ambiente térmico para bovinos de leite criados em região de clima tropical, Alves (2014) encontrou valores de entalpia da ordem de 76,7 KJ kg⁻¹ para o período da manhã e de 82,8 KJ kg⁻¹ no período da tarde, esses valores não corroboram com os encontrados no presente estudo onde, a média de entalpia encontrada no período da manhã foi na ordem de 55,38 KJ kg⁻¹ e no período da tarde de 64,13 KJ kg⁻¹. Considerando que a entalpia é a variável física que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d'água, quanto maior o valor da entalpia, maior será a quantidade de energia (calor) existente no ambiente. (BARBOSA FILHO, 2004; BARBOSA FILHO, 2008).

Um ambiente que estimula as condições de estresse térmico nos animais influencia diretamente na produtividade dos bovinos de leite e também no seu comportamento dentro da área de pasto, tendendo a ter preferência em locais com maior disponibilidade de água e sombra (KEMER, 2015).

De acordo com a Figura 9 é perceptível a redução gradual dos valores pluviométricos entre os meses de agosto a outubro, esta variação demonstra a transição da estação mais chuvosa para o período seco. Entre os dias 06/08 e 26/08/2019 nota-se uma precipitação acumulada de 112,5 mm, no período entre 27/08 e 25/09/2019 de 56,6 mm e, do período de 26/09 à 26/10/2019 ocorreu acumulado da ordem de 6,7 mm. De acordo com da Silva et al. (2014), o valor médio de evapotranspiração total da *Brachiaria decumbens* é 324,96 mm, indicando a necessidade hídrica de aproximadamente 65,39% no mês de agosto, de 82,59% no mês de setembro e de 97,94% no mês de outubro.

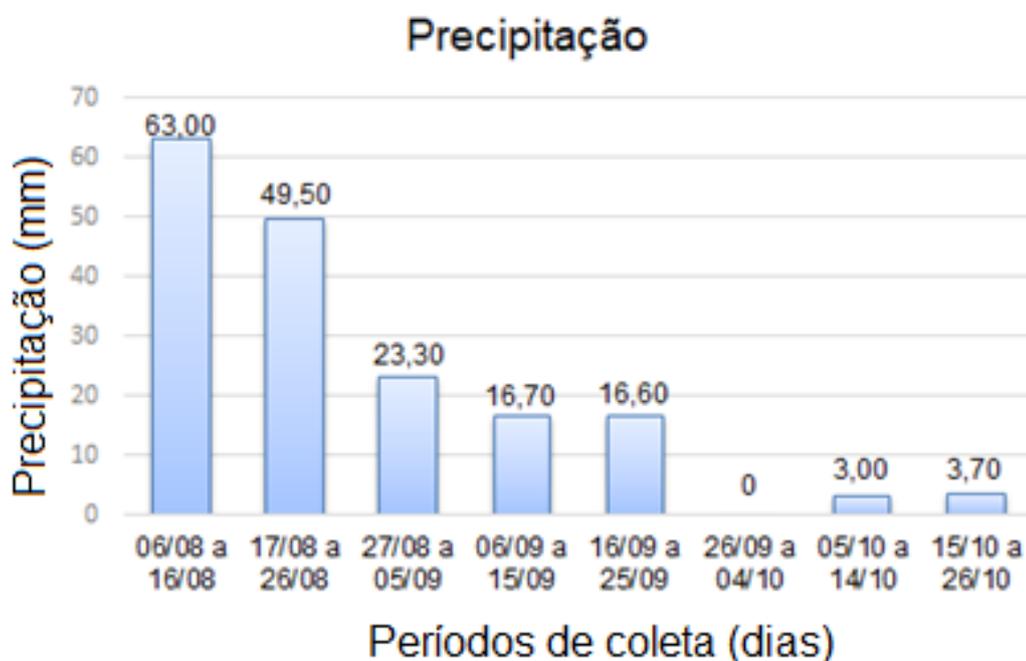


Figura 9. Distribuição pluviométrica durante o período de estudo (06/08 a 26/10).

Por meio do diagrama de caixa verificou-se o comportamento das variáveis Altd, MFPA e MSPA, antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem) (Figura 10) e as variáveis IAF, MSR nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e RP nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20 antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem) (Figura 11).

Com isso, identificou-se outliers para as variáveis MSR nas duas profundidades (0,00-0,10m e 0,10-0,20 m), MFPA e Altd e, após a saída dos animais, os outliers encontrados foram para as variáveis Altd e MSR nas duas profundidades (0,00-0,10m

e 0,10-0,20 m). Esses valores são explicados devido a heterogeneidade em alguns pontos na área de pasto, apresentando-se pontos com valores discrepantes da variação padrão encontrados na área.

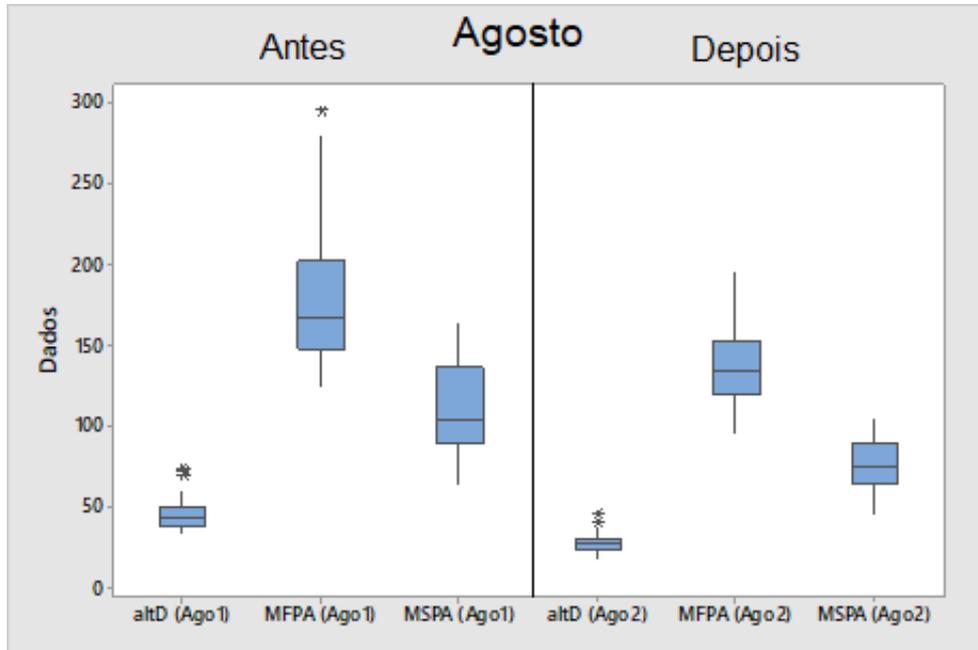


Figura 10. Diagrama de caixa das variáveis altura de dossel (Altd), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem).

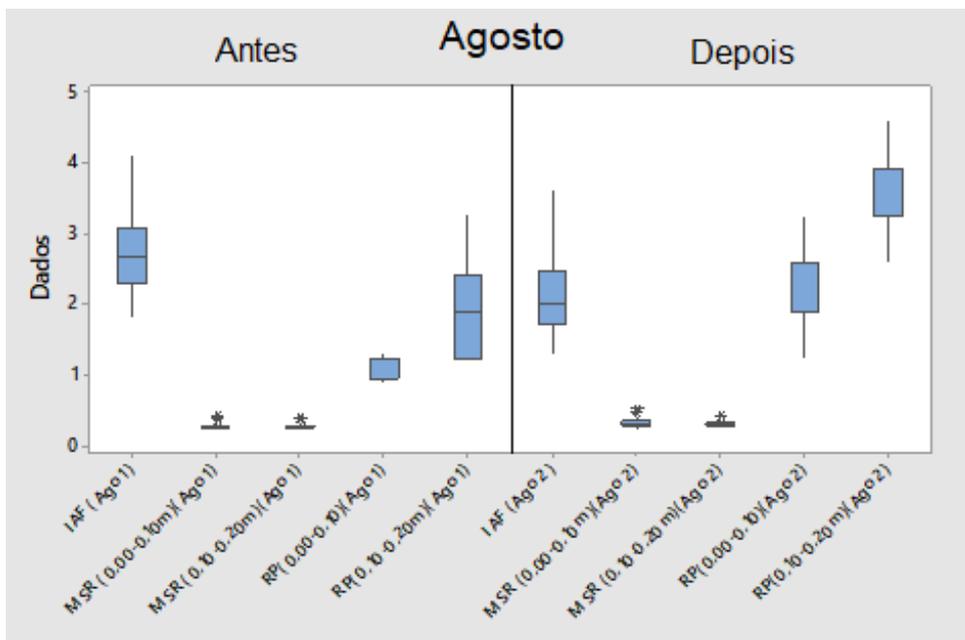


Figura 11. Diagrama de caixa das variáveis índice de área foliar (IAF), massa seca da raiz (MSR) nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e resistência do solo a penetração (RP)

nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20m antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de agosto (1ª passagem).

Os resultados da estatística descritiva obtidas antes e após o período de pastejo estão apresentados na Tabela 1. Diante das informações obtidas foi constatada distribuição normal para todas as variáveis estudadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A constatação da distribuição normal foi corroborada pelos valores próximos da média e mediana, de acordo com Cambardella et al. (1994).

O coeficiente de variação antes da entrada dos animais no piquete, indicaram baixa variabilidade para MSR em ambas as profundidades (0,00-0,10 e 0,10-0,20m) e média variabilidade para altD, MFPA, MSPA, IAF e RP (0,00-0,10 e 0,10-0,20m) de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980).

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis biométricas e de resistência do solo a penetração (RP) antes da entrada dos animais no piquete e após a primeira passagem dos animais (agosto).

Estatística S	Antes da entrada dos animais no pasto							
	Variáveis							
	altD ¹	MFPA ²	MSPA ³	IAF ⁴	RP ⁵	RP ⁶	RAIZ ⁷	RAIZ ⁸
					Profundidades(m)			
				0,00-0,10	0,10-0,20	0,00-0,10	0,10-0,20	
Média	0,437	0,172	0,110	2,678	1,127	1,876	0,00025	0,00026
Mediana	0,420	0,165	0,104	2,650	1,222	1,897	0,00025	0,00026
Mínimo	0,340	0,125	0,064	1,800	0,884	1,222	0,00021	0,00022
Máximo	0,600	0,248	0,164	4,100	1,289	3,248	0,00032	0,00032
⁹ DP	0,065	34,470	27,210	0,5351	0,145	0,555	0,02998	0,02430
¹⁰ CV	14,930	20,030	24,530	19,980	12,900	29,600	11,670	9,100
¹¹ A	0,760	0,500	0,320	0,410	-0,490	0,430	0,850	0,800
¹² C	-0,010	-0,350	-1,000	0,260	-1,430	-0,430	0,030	0,770

¹³KS 0,165* 0,115* 0,134* 0,084* 0,274** 0,235** 0,138** 0,149**

Após a saída dos animais no pasto

Estatísticas	Variáveis							
	altD ¹	MFPA ²	MSPA ³	IAF ⁴	RP ⁵	RP ⁶	RAIZ ⁷	RAIZ ⁸
	Profundidades(m)							
					0,00-0,10	0,10-0,20	0,00-0,10	0,10-0,20
Média	0,262	0,137	0,077	2,043	2,129	3,501	0,00029	0,00029
Mediana	0,260	0,134	0,076	2,000	1,897	3,248	0,00029	0,00029
Mínimo	0,170	0,095	0,045	1,300	1,222	2,572	0,00024	0,00025
Máximo	0,360	0,196	0,105	3,600	3,248	4,598	0,00038	0,00035
⁹ DP	4,562	26,72	17,62	0,509	0,531	0,562	0,03743	0,02488
¹⁰ CV	17,410	19,460	22,780	24,950	24,970	16,060	12,60	8,400
¹¹ A	0,060	0,450	-0,010	0,850	0,130	0,250	0,490	0,610
¹² C	0,050	-0,410	-0,890	1,280	-0,220	-0,300	-0,210	0,220
¹³ KS	0,075*	0,115*	0,088*	0,112*	0,263**	0,267**	0,096**	0,093**

¹altD: Altura de dossel (m), ²MFPA (Kg): Massa fresca da parte aérea; ³MSPA: Massa seca da parte aérea (Kg); ⁴(IAF): Índice de área foliar (m²/m²); ^{5,6}RP: Resistência a penetração obtidas em duas profundidades (Mpa); ^{7,8}RAIZ: Massa de raiz obtidas em ambas as profundidades (g); ⁹DP: Desvio Padrão; ¹⁰CV: Coeficiente de Variação; ¹¹A: Assimetria; ¹²C: Curtose; ¹³KS: Kolmogorov-Smirnov; **: Significativo a 1% de probabilidade.

Após a primeira passagem dos animais no piquete foi mantido o coeficiente de variação próximo ao encontrado antes da entrada dos animais, sendo apenas a MSR (0,10-0,20m) a variável com baixa variabilidade, os demais parâmetros permaneceram com média variabilidade espacial. A média variabilidade espacial da resistência do solo a penetração também foi obtida por Tavares et al. (2014) na região do Agreste de Pernambuco.

Santos et al. (2012) descreveram os baixos valores de coeficiente de variação

como forma de expressar a menor heterogeneidade do atributo na área de estudo, no entanto, a média variabilidade é atribuída pelos autores ao uso e manejo do solo com implementos agrícolas, esse raciocínio pode ser atribuído a distribuição espacial e as passadas dos animais na área.

A média dos valores de resistência do solo a penetração na entrada e saída dos animais, variaram de 1,127 a 2,129 MPa, na profundidade de 0,00-0,10 m e, de 1,876 a 3,501 MPa, na profundidade de 0,10-0,20 m. De acordo com a Soil Science Division Staff (2017) os valores de RP encontrados foram classificados como moderado e forte, respectivamente. A RP com valores acima de 2 MPa podem ser considerados impeditivo ao crescimento radicular, assim como destacado por Blainski (2008) e Silveira et al. (2010). Resultados semelhantes foram encontrados por Couto et al. (2016) em área de Latossolo, após o pastejo dos animais.

No presente estudo raízes em ambas as profundidades demonstraram crescimento após o período de pastejo, comportamento esperado pelo fato da forragem emitir raízes para recuperação do estágio vegetativo, conforme destacado por Faria (2018).

Os modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais ajustados para os atributos biométricos, Altd (Figura 12 A), MFPA (Figura 12 B), MSPA (Figura 12 C), IAF (Figura 12 D), MSR (0,00-0,10m) (Figura 12 E), MSR (0,10-0,20m) (Figura 12 F), e de RP nas profundidades 0,00-0,10m (Figura 12 G) e 0,10-0,20m (Figura 12 H) estudados. A partir dos gráficos analisados em todo o ciclo no mês de agosto (antes da entrada e após a saída dos animais do piquete), foi possível verificar estrutura de dependência espacial para as variáveis altura de dossel (Figura 12 A), antes da entrada dos animais, o modelo ajustado foi o exponencial e após a saída dos animais o modelo melhor ajustado foi o esférico.

A variável MSPA (Figura 12 C) apresentou ajuste apenas na primeira passagem, indicando o modelo esférico como o mais adequado para descrever o comportamento dos dados de MSPA de agosto. Após a saída dos animais não houve o ajuste por tendência a uniformização do pasto, caracterizando o efeito pepita. A RP (0,00-0,10m) (Figura 12 G) na segunda passagem dos animais pelo piquete e a RP (0,10-0,20m) (Figura 12 H) na primeira passagem foram melhor expressos pelo modelo esférico.

As demais variáveis não apresentaram ajustes dos modelos teóricos associados aos semivariogramas experimentais, caracterizando, segundo Cambardella et al (1994) e Tavares et al. (2014) o efeito pepita. O efeito pepita pode ser sanado ao analisar a variável em um espaçamento diferente do utilizado, porém, no presente estudo não foi realizado esse procedimento a fim de padronizar a matriz de registro de dados.

De acordo com Isaaks & Srisvastava (1989) e Oliveira et al., (2015), o padrão para a distância de análise dos semivariogramas é a metade da distância entre os pontos de coleta (de acordo com a malha), porém, é possível flexibilizar essas distâncias para que seja confirmado a tendência de ajuste dos dados há algum modelo matemático. Por meio dos modelos é realizada a modelagem das variáveis na área de estudo e o comportamento dos mesmos tendem a variar de acordo com os dados trabalhados, como foi o caso das informações biométricas do pasto e os dados de resistência do solo a penetração.

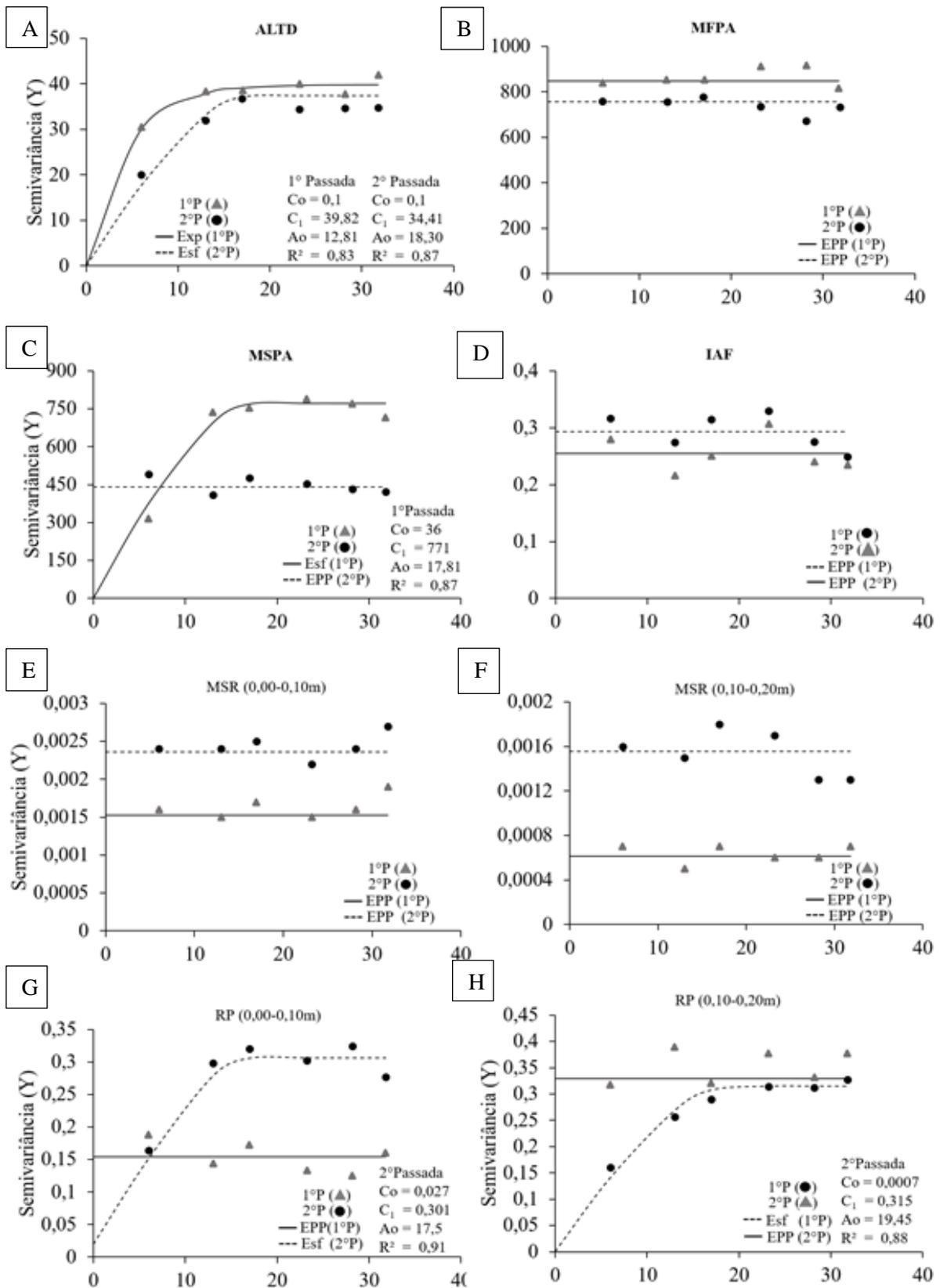


Figura 12. Semivariogramas experimentais ajustados aos modelos matemáticos referente a entrada e após a saída dos animais do piquete na 1ª Passagem em agosto; Altura de dossel

(Altd) (Figura 12 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 12 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 12 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 12 D), Massa seca da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 12 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 12 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 12 G) e 0,10-0,20m (Figura 12 H); 1º P- antes da entrada dos animais(▲), 2º P- depois da saída dos animais(●), Co- efeito pepita , C1- contribuição (patamar-efeito pepita), Ao- Alcance, R²- coeficiente de determinação, Exp- Exponencial, Esf- Esférico, EPP- Efeito pepita puro.

O semivariograma experimental apresenta informações quanto a distribuição dos pontos e o parâmetro alcance, este último representa a distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente. Os alcances das variáveis que proporcionaram modelos variaram entre 17,50 m, sendo este o menor valor encontrado na segunda passagem para RP (0,00-0,10m) (Figura 12 G), e o maior valor 19,45 m obtido para RP (0,10-0,20 m) (Figura 12 H) na primeira passagem dos animais pelo piquete. Os valores de alcance obtidos por Batista et al. (2017) para RP (0,00-0,10m) de 8,52 m e RP (0,10-0,20 m) de 8,66 m, diferem aos encontrados no presente estudo, porém, verificou-se o mesmo ajuste do modelo matemático para as duas profundidades de estudo da RP, o modelo esférico.

De Paula Neto et al. (2014) em pastagem de *brachiaria*, apresentaram dados das variáveis Altd e MSPA Os semivariogramas ajustados para as variáveis Altd foram os modelos esférico e o alcance foi de 15,60 m quando a altura de manejo estava em 0,40 m, e o modelo exponencial com alcance de 23,70 m quando a altura do dossel estava em 0,20 m, esses valores diferem dos encontrados no presente estudo, onde antes da entrada dos animais (aproximadamente 0,40 m de altura de dossel) (Figura 12 A), o modelo ajustado foi o exponencial com o alcance de 12,81 m e quando o pasto alcançou em média 0,20 m (após a saída dos animais) o modelo foi o esférico com alcance de 18,30 m.

Com relação a MSPA De Paula Neto et al. (2014) encontraram os modelos esférico com alcance de 15,00 m e modelo exponencial com alcance 23,91 para as alturas de manejo de 0,40 m e 0,20 m respectivamente, corroborando com os dados antes da entrada dos animais ao pasto (Figura 12 C), ou seja, também foi ajustado o modelo esférico e o valor de alcance foi 17,81 m, após a saída dos animais não foi ajustado nenhum modelo, apresentando o comportamento de efeito pepita puro.

Todas as variáveis que se ajustaram aos modelos teóricos, obtiveram forte grau de dependência espacial (GDE). Cambardella et al. (1994) relacionam a forte

dependência espacial as propriedades do solo, esse comportamento possibilitou verificar a variabilidade do pasto antes da entrada dos animais, onde a formação do pasto não se desenvolveu uniformemente, assim como, a relação entre as variáveis biométricas e a resistência a penetração.

Os modelos teóricos apresentaram coeficiente de ajuste ao semivariograma (R^2) entre 0,87 e 0,91, ou seja, no mínimo 87% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados.

A fim de estimar valores nos locais não amostrados, foi utilizado o método de interpolação por krigagem, possibilitando gerar mapas de contorno da distribuição espacial das variáveis estudadas. De acordo com Sampaio et al. (2010) esses mapas possibilitam a visualização da espacialização dos atributos e auxiliam no planejamento da área.

Por meio dos mapas de krigagem, de antes da entrada e após a saída dos animais do piquete na 1ª passagem em agosto, para as variáveis Altd (Figura 13 A), IAF (Figura 13 B), MFPA (Figura 13 C), MSPA (Figura 13 D), MSR (0,00-0,10m) (Figura 13 E), MSR (0,10-0,20m) (Figura 13 F), RP (0,00-0,10m) (Figura G) e RP (0,10-0,20m) (Figura H). Observa-se o incremento nas variáveis MSR (0,00-0,10m e 0,10-0,20m) e RP (0,00-0,10m e 0,10-0,20m) e decréscimo nas outras variáveis, os quais são referentes aos dados biométricos da pastagem. Os mapas de altura de dossel, IAF, MFPA, MSPA e RP (0,00-0,10m e 0,10-0,20 m) mostraram variação regionalizada, indicando áreas de preferências dos animais. Os mapas de MSR (0,00-0,10m e 0,10-0,20 m) apresentam variação similar entre as passagens, o que pode indicar que a RP em ambas as camadas não foram fatores impeditivos para o desenvolvimento radicular nesse ciclo.

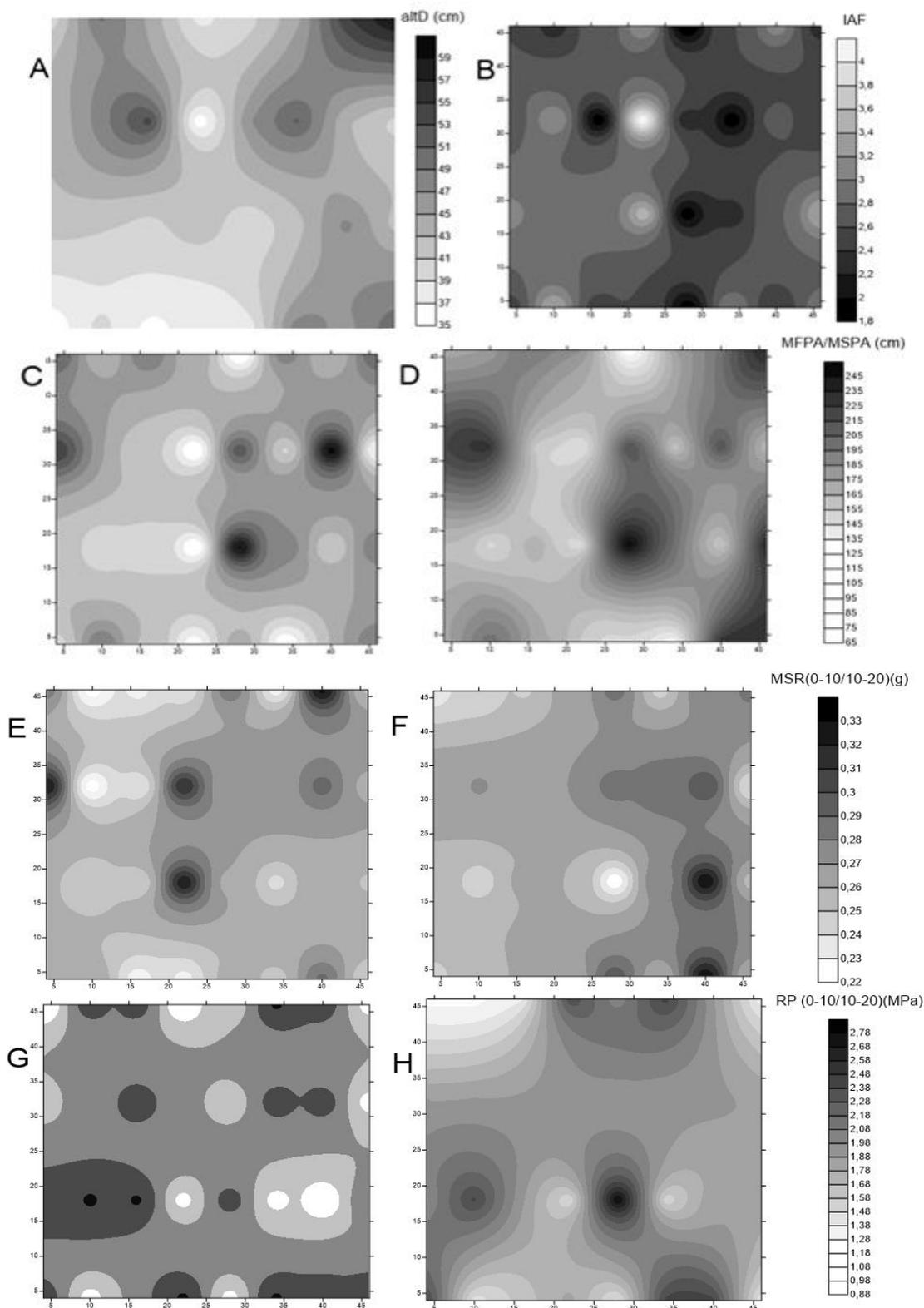


Figura 13. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e de resistência do solo a penetração, antes da entrada dos animais no piquete (1ª passagem - agosto); Altura de dossel (Altd) (Figura 13 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 13 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 13 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 13 D), Massa seca

da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 13 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 13 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 13 G) e 0,10-0,20m (Figura 13 H).

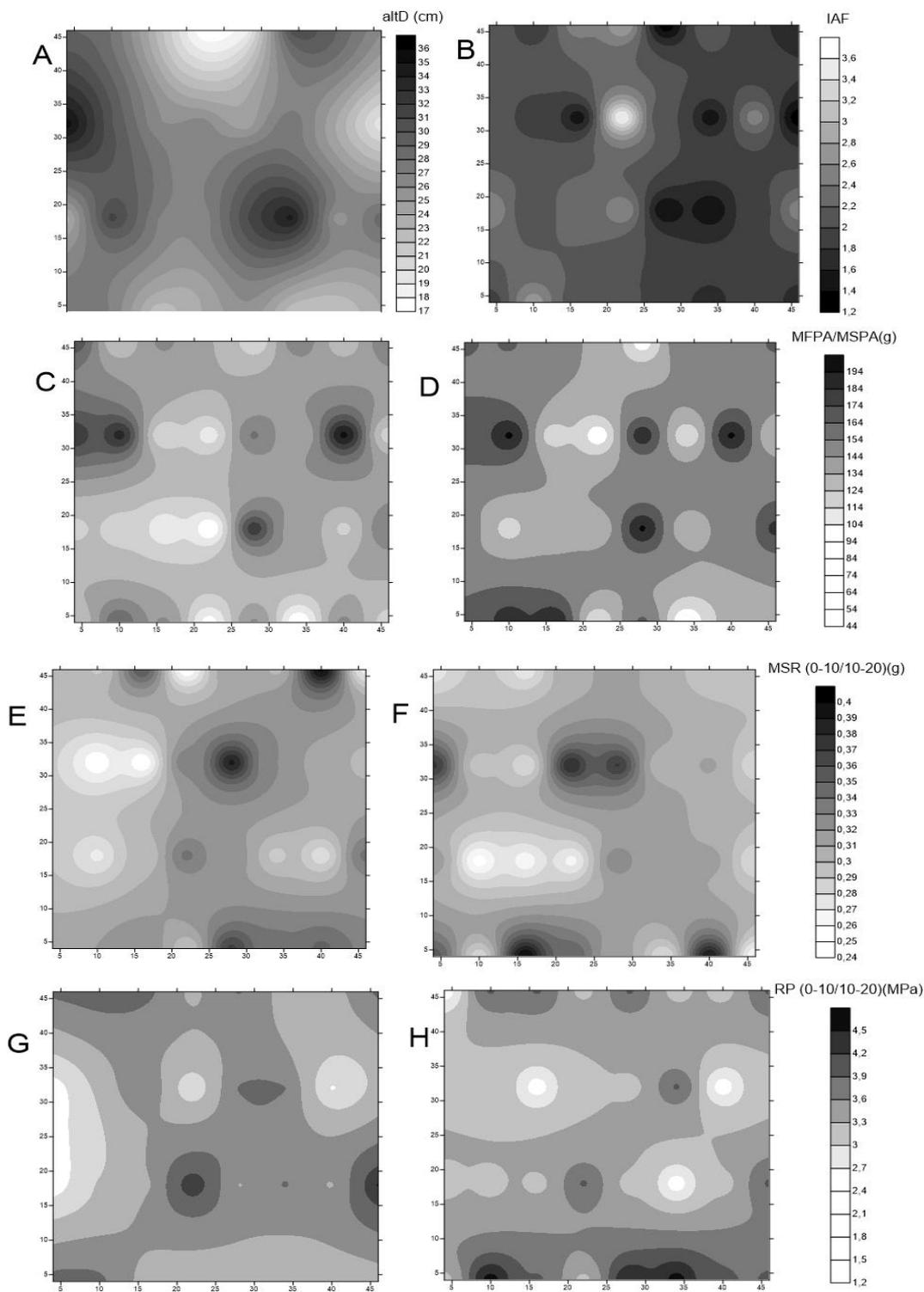


Figura 14. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e de resistência do solo a penetração, após a saída dos animais no piquete (1ª passagem - agosto); Altura de dossel

(Altd) (Figura 14 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 14 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 14 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 14 D), Massa seca da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 14 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 14 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 14 G) e 0,10-0,20m (Figura 14 H).

Após análise do diagrama de caixa das variáveis Altd, MFPA e MSPA, antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem) (Figura 15) e as variáveis IAF, MSR nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e RP nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20 antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem) (Figura 16), identificou-se a presença de outliers para as variáveis MFPA e MSR (0,10-0,20 m) e MFPA, respectivamente, assim como ocorrido em agosto (1ª passagem).

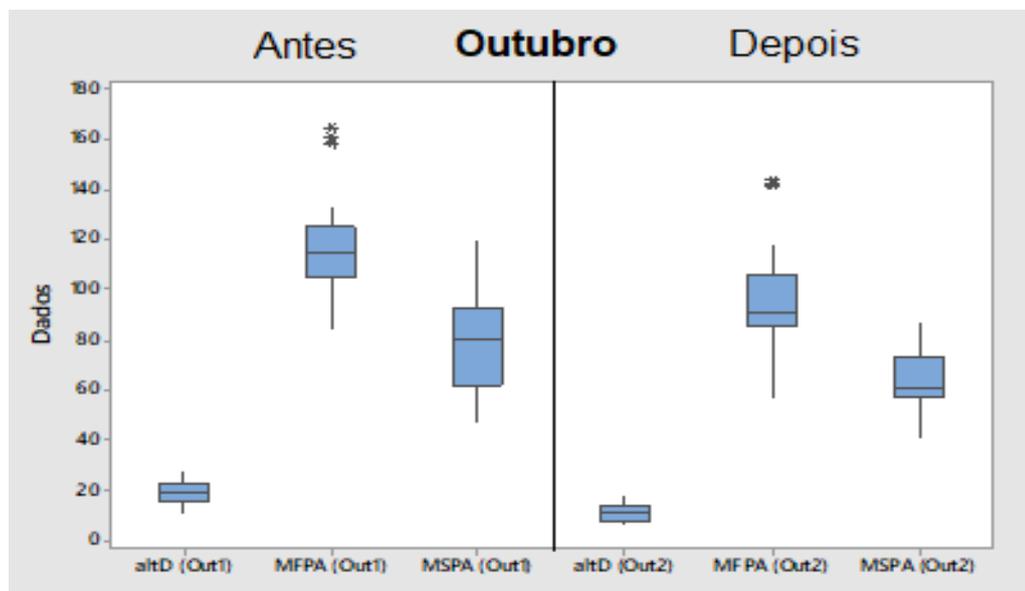


Figura 15. Diagrama de caixa das variáveis altura de dossel (Altd), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem).

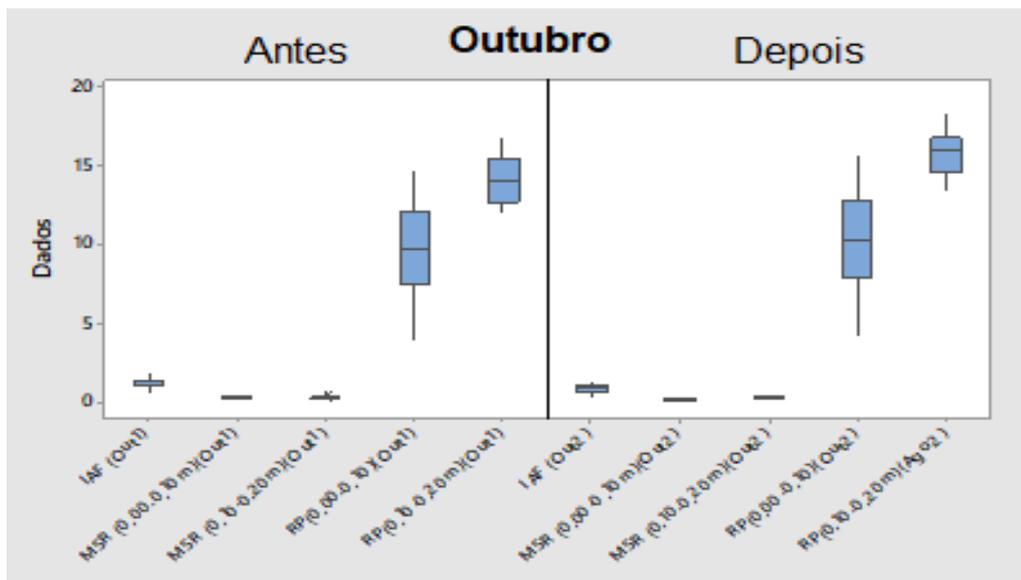


Figura 16. Diagrama de caixa das variáveis índice de área foliar (IAF), massa seca da raiz (MSR) nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e resistência do solo a penetração (RP) nas profundidades 0,00-0,10m e 0,10-0,20 antes e após a entrada dos animais no piquete no mês de outubro (3ª passagem).

Aplicando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, observou-se a normalidade para todas as variáveis estudadas e em todas as etapas do estudo (Tabela 2). Com relação ao coeficiente de variação, as variáveis estudadas antes e após a entrada dos animais Altd, MSPA, IAF, MSR (0,00-0,10m), RP (0,00-0,10 m) e MFPA (após a saída dos animais), foram classificadas como média e, nas variáveis MFPA, RP (0,10-0,20 m) e MSR (0,10-0,20 m) na entrada dos animais e RP (0,10-0,20m) e MSR (0,10-0,20m) referente a saída dos animais do piquete foram classificadas como baixa variabilidade.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis biométricas e de resistência do solo a penetração (RP) antes da entrada dos animais no piquete e após a terceira passagem dos animais (outubro).

Antes da entrada dos animais no pasto								
Estatísticas	Variáveis							
	¹ altD	² MFPA	³ MSPA	⁴ IAF	⁵ RP	⁶ RP	⁷ MSR	⁸ MSR
Profundidades(m)								
					0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10
Média	0,196	0,112	0,079	1,279	9,600	14,003	0,00027	0,00032
Mediana	0,190	0,115	0,080	1,3	9,663	14,053	0,00027	0,00032
Mínimo	0,110	0,084	0,047	0,6	3,923	12,027	0,00018	0,00026
Máximo	0,280	0,133	0,120	1,9	14,728	16,754	0,00040	0,00037
⁹ DP	4,218	13,410	19,82	0,3152	2,776	1,474	0,05950	0,02513
¹⁰ CV	21,490	11,940	24,910	24,630	29,910	10,530	21,470	7,770
¹¹ A	0,220	-0,470	0,340	-0,150	-0,220	0,390	0,040	0,310
¹² C	-0,540	-0,540	-0,400	-0,050	-0,740	-0,600	-0,750	0,380
¹³ KS	0,121**	0,132**	0,092**	0,128**	0,111**	0,153**	0,086**	0,173**

Após a saída dos animais no pasto								
Estatísticas	Variáveis							
	¹ altD	² MFPA	³ MSPA	⁴ IAF	⁵ RP	⁶ RP	⁷ RAIZ	⁸ RAIZ
					0-10	10-20	0-10	10-20
Profundidades(m)								
					0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10
Média	0,112	0,092	0,063	0,8906	10,176	16,004	0,00024	0,00033
Mediana	0,110	0,090	0,061	0,900	10,243	15,919	0,00026	0,00032
Mínimo	0,060	0,060	0,041	0,400	4,159	13,377	0,00015	0,00029
Máximo	0,180	0,118	0,087	1,300	15,612	18,33	0,00037	0,00039

⁹ DP	3,149	14,340	12,44	0,2263	2,942	1,414	0,05215	0,02989
¹⁰ CV	28,070	15,590	19,710	25,410	28,910	8,830	20,900	8,650
¹¹ A	0,220	-0,200	0,010	0,070	-0,220	-0,040	0,030	0,570
¹² C	-0,770	-0,040	-0,700	-0,480	-0,740	-0,730	0,130	-0,600
¹³ KS	0,103**	0,146**	0,129**	0,171**	0,111**	0,153**	0,121**	0,138**

¹altD: Altura de dossel (m), ²MFPA (Kg): Massa fresca da parte aérea; ³MSPA: Massa seca da parte aérea (Kg); ⁴ (IAF):Índice de área foliar (m²/m²); ^{5,6}RP: Resistência a penetração obtidas em duas profundidades (Mpa); ^{7,8}RAIZ: Massa de raiz obtidas em ambas as profundidades (g); ⁹DP: Desvio Padrão; ¹⁰CV: Coeficiente de Variação; ¹¹A: Assimetria; ¹²C: Curtose; ¹³KS: Kolmogorov-Smirnov; **: Significativo a 1% de probabilidade.

Os valores de resistência à penetração do solo nas duas profundidades (0,00-0,10m e 0,10-0,20 m) apresentaram incremento em seus valores, o que pode estar diretamente associado ao pisoteio animal, o número excessivo de animais no pasto e um baixo volume de forragem, fazendo com que ocorresse maior pressão de pastejo e compactação do solo. A média dos valores de resistência à penetração durante todo o ciclo (Tabela 1) variou entre 9,6 a 14,0 MPa, na profundidade de 0,00-0,10 m e na profundidade de 0,10-0,20 m, de 10,17 a 16,0 MPa.

Esses valores extrapolam os limites críticos de resistência do solo a penetração indicado por Moraes et al., (2014), também é perceptível o incremento da RP em relação a profundidade, de acordo com Carvalho et al. (2011), isso se deve a compactação na camada subsuperficial do solo, exercida pelo pisoteio dos animais. Reinert et al. (2003) associam a restrição do crescimento radicular ao estado de compactação do solo.

A relação da distribuição dos valores e suas respectivas variáveis foram analisadas pelo gráfico de semivariância, em que foram aplicados os modelos matemáticos que melhor descrevessem a variabilidade dos dados biométricos, Altd (Figura 17 A), MFPA (Figura 17 B), MSPA (Figura 17 C), IAF (Figura 17 D), MSR (0,00-0,10m) (Figura 17 E), MSR (0,10-0,20m) (Figura 17 F), e de RP nas profundidades 0,00-0,10m (Figura 17 G) e 0,10-0,20m (Figura 17 H) estudados em toda a 3ª Passagem no mês de outubro (antes da entrada e após a saída dos animais do piquete).

Diante disso, as variáveis MSPA (Figura 17 C), MSR (0,10-0,20 m) (Figura 17 F) e RP (0,00-0,10 m) (Figura 17 G) antes da entrada e após a saída dos animais do piquete, apresentaram ajustes para os modelos, esférico, exponencial, esférico, esférico, exponencial e esférico, respectivamente. As demais variáveis apresentaram efeito pepita, ocasionado pelo intervalo imposto no estudo.

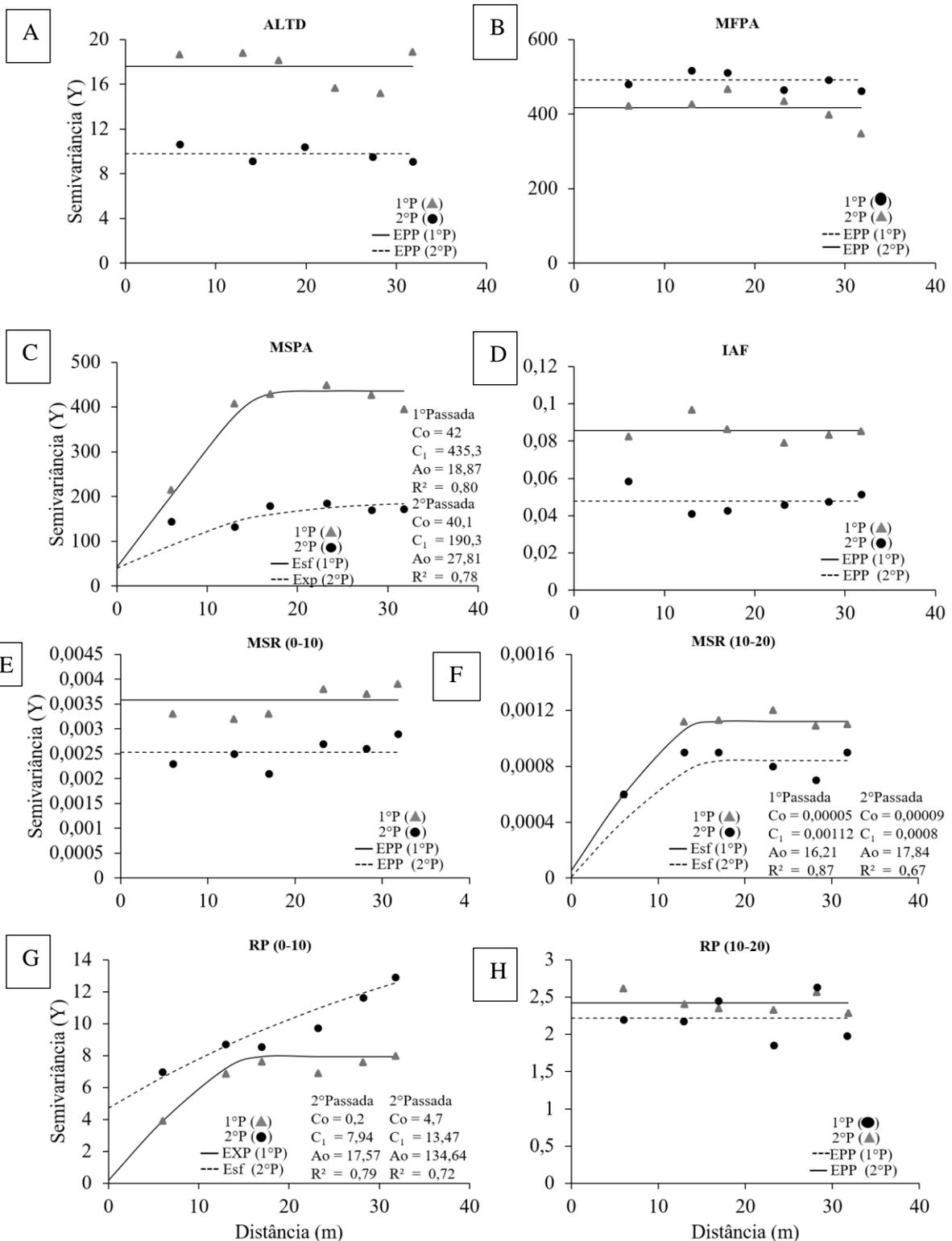


Figura 17. Semivariogramas experimentais ajustados aos modelos matemáticos referente a entrada e após a saída dos animais do piquete na 1ª Passagem em agosto; Altura de dossel (Altd) (Figura 17 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 17 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 17 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 17 D), Massa seca da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 17 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 17 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 17 G) e

0,10-0,20m (Figura 17 H); 1º P- antes da entrada dos animais(▲), 2º P- depois da saída dos animais(●), Co- efeito pepita , C1- contribuição (patamar-efeito pepita), Ao- Alcance, R²- coeficiente de determinação, Exp- Exponencial, Esf- Esférico, EPP- Efeito pepita puro.

O grau de dependência espacial (GDE) expostos pelo modelo matemático ajustado, mostrou forte dependência espacial, com valores da ordem de 9,64% (MSPA, antes da entrada dos animais) (Figura 17 C), 21,01% (MSPA, após a saída dos animais)(Figura 17 C), 4,46% (MSR 0,10-0,20 m, antes da entrada dos animais) (Figura 17 F), 11,25% (MSR 0,10-0,20 m, após a saída dos animais) (Figura 17 F) e 12,51% (RP 0,00-0,10m, antes da entrada dos animais) (Figura 17 G), a variável RP 0,00-0,10 m após a saída dos animais (Figura 17 G), apresentou GDE médio de 34,89%.

De acordo com o semivariograma experimental, aquele de maior alcance foi para MSPA (27,81m) (Figura 17 C), após a saída dos animais do piquete e o menor para MSR 0,10-0,20 m (16,21m) (Figura 17 F) antes da entrada dos animais. O modelo matemático que melhor se ajustou para MSR (0,10-0,20 m) (Figura 17 F) antes da entrada dos animais (R²=0,87) e o pior ajuste foi para MSR (0,10-0,20 m) (Figura 17 F) após a saída dos animais (R²=0,67).

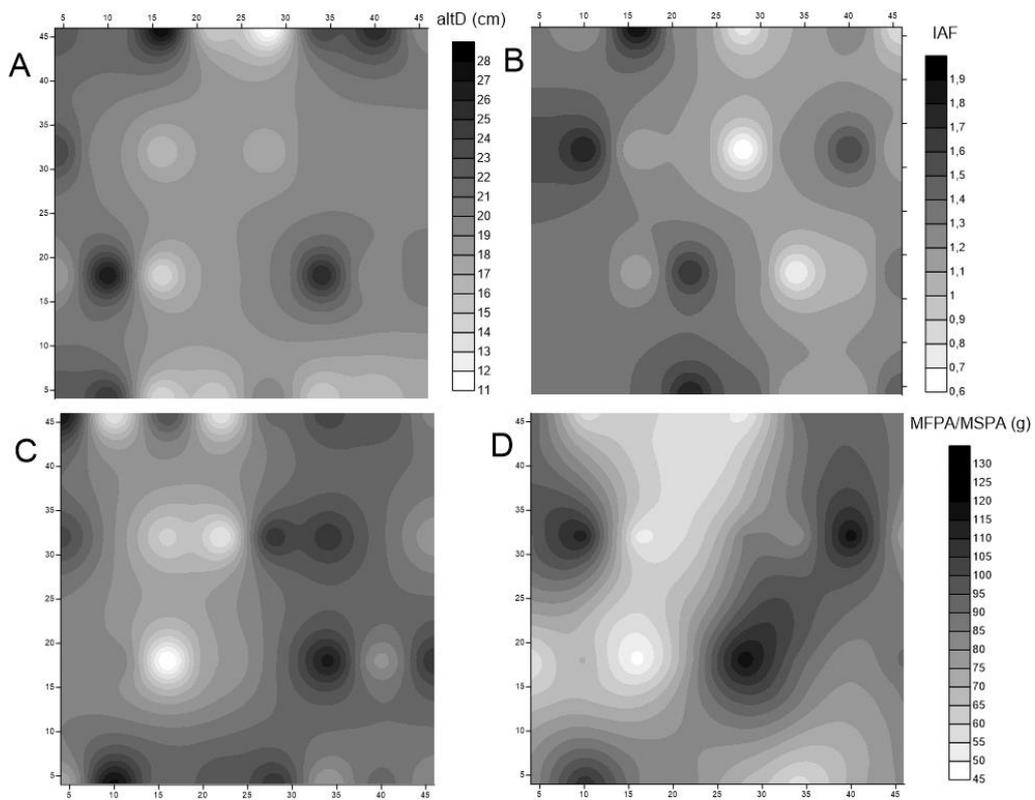
Os resultados obtidos corroboram Pagotto (2001), que estudou o desenvolvimento do sistema radicular do capim Tanzânia sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo, o autor relatou maior variação da massa seca de raiz, apontando essa variável como bom indicador dos efeitos da intensidade de pastejo, sendo esta avaliação também perceptível no decorrer de todos os estágios do ciclo de rotação de piquetes.

Constatada a presença da dependência espacial para os atributos em estudo, foram realizadas inferências, por meio da krigagem ordinária, de dados para locais não amostrados a partir da malha de coleta de dados no campo, as variáveis que não se adequaram a algum modelo matemático, utilizou-se a técnica do inverso da potência (IDW), atribuindo a potência 2 da distância (IQD-Inverso do quadrado da distância)

A partir dos mapas de isolinhas de antes da entrada dos animais (Figura 18) e após a saída dos animais (Figura 19) foi possível associar os maiores valores de RP ao decréscimo dos índices biométricos, além de indicar regionalização de ocupação

do piquete e do pastejo dos animais, já que a área de preferência dos animais está diretamente ligada aos maiores valores de RP, ocasionado pelo efeito acumulativo do pisoteio dos animais.

Da Silva et al. (2019) ressalta a importância de se utilizar modelos digitais detalhados da heterogeneidade espacial das propriedades do solo, para um eficiente manejo de acordo com as especificidades do local.



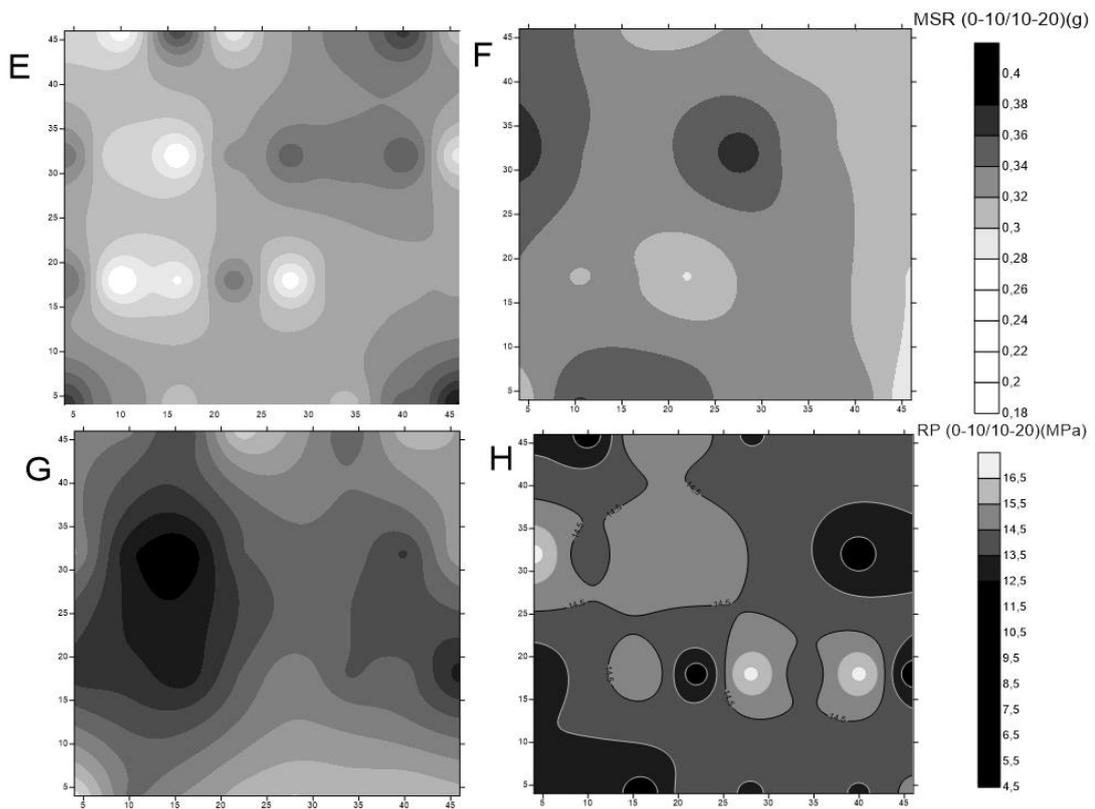


Figura 18. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e da resistência do solo a penetração, antes da entrada dos animais no piquete (3ª passagem - outubro); Altura de dossel (Altd) (Figura 18 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 18 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 18 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 18 D), Massa seca da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 18 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 18 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 18 G) e 0,10-0,20m (Figura 18 H);

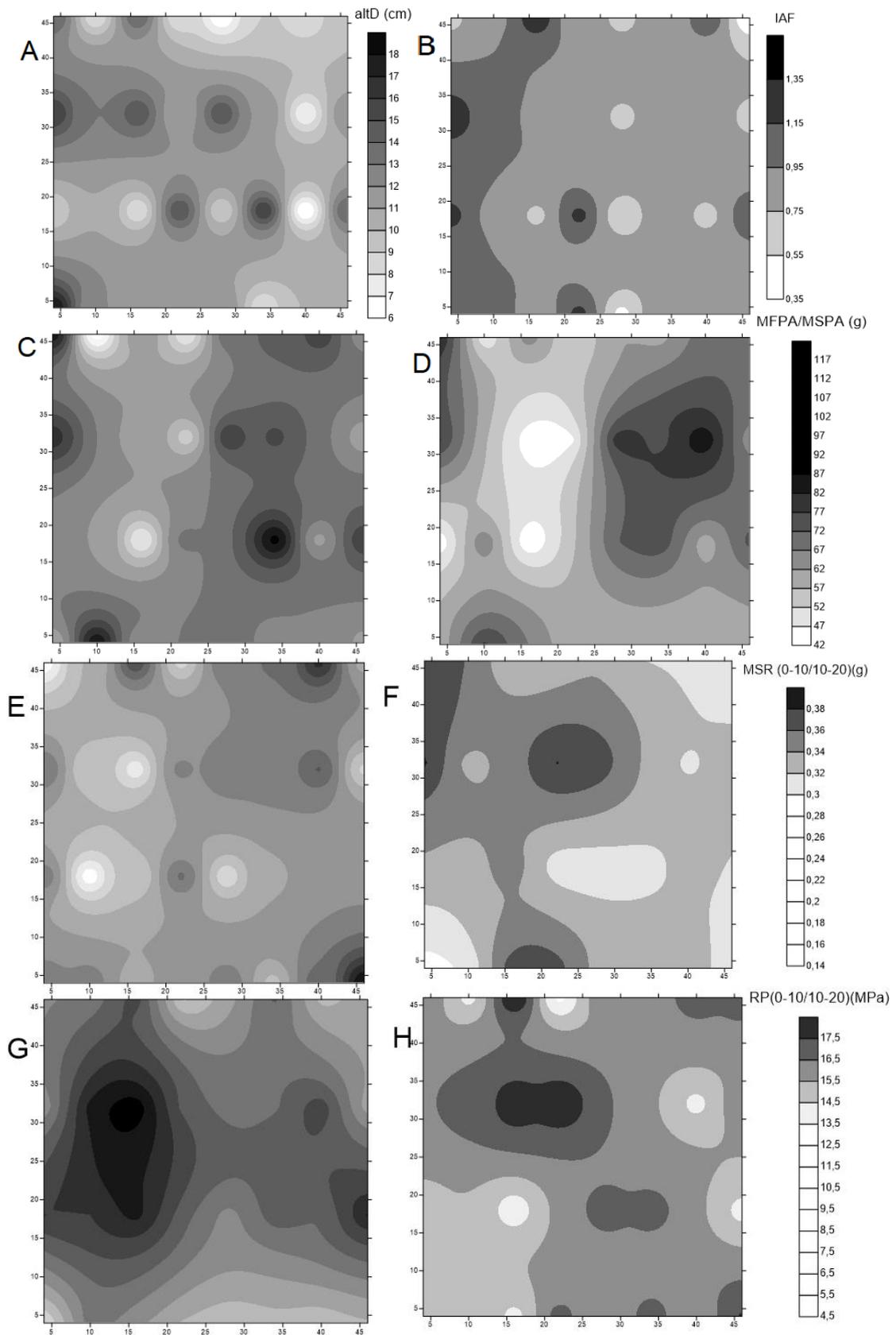


Figura 19. Mapas de isolinhas das variáveis biométricas da forragem e da resistência do solo a penetração, depois da saída dos animais do piquete (3ª passagem - outubro); Altura de

dossel (Altd) (Figura 19 A), Massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 19 B), Massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 19 C), Índice de área foliar (IAF) (Figura 19 D), Massa seca da raiz (MSR) (0,00-0,10m) (Figura 19 E), Massa seca da raiz (MSR) (0,10-0,20m) (Figura 19 F), e de Resistência do solo a penetração nas profundidades (RP) 0,00-0,10m (Figura 19 G) e 0,10-0,20m (Figura 19 H).

Os mapas de krigagem referente a saída dos animais do piquete (Figura 19), mostram tendência a uniformização para as variáveis Altd (Figura 19 A), IAF (Figura 19 C), MFPA (19 C), MSR (0,00-0,10 m) (Figura 19 E) e RP (0,10-0,20 m) (Figura 19 H), este fator está relacionado com a oferta de forragem na área do piquete, outro ponto significativo é o efeito da RP mais à esquerda da área, que por se tratar de um período de maior temperatura do ar, é provável que a busca dos animais pela sombra tenha proporcionado um pastoreio próximo da área de descanso. Essas informações corroboram com Piovezan et al. (2017), quanto a busca dos animais por locais com temperaturas mais amenas, promoveram a regionalização do pastejo.

CONCLUSÕES

- Os atributos biométricos da pastagem e da resistência do solo a penetração se adequaram aos modelos matemáticos teóricos e apresentaram forte grau de dependência espacial (GDE), salvo a variável RP 0,00-0,10 m após a saída dos animais do piquete (1ª passagem), que apresentou GDE médio de 34,89%.
- A resistência a penetração do solo apresentou valores acima dos limites considerados como críticos para compactação, a partir da saída dos animais da área de pastejo na 1ª passagem (agosto).
- Os mapas de krigagem indicaram os locais de menor valor de resistência a penetração, o que permitiu associar ao melhor desenvolvimento do sistema radicular da pastagem.
- A capacidade de resiliência da pastagem foi influenciada negativamente com a baixa disponibilidade hídrica e com o incremento da resistência a penetração do solo, ocasionado principalmente pelo pisoteio dos animais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Henrique, H. M.; DE Almeida, G. A. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça girolando. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 754-760, 2011.

Alves, M. A. Respostas termorreguladoras e ambiente térmico de bovinos leiteiros em regiões de clima tropical. 2014. 79f. **Tese (Doutorado em Zootecnia)** – Universidade Federal do Ceará, 2014.

Alvim, M. J.; Botrel, M. A.; Xavier, D. F. **As principais espécies de Brachiaria utilizadas no País**. Juiz de Fora MG: Embrapa Gado de Leite, 2002.

Andrade, R. G., Bolfe, E. L., Victoria, D. D. C., Nogueira, S. F. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Embrapa Gado de Leite-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

Armstrong, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2044-2050, 1994.

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil: **Relatório anual 2018**.

Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 26 dezembro 2020.

Azambuja, R. N; Côrrea, C. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de garanhuns-pe: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 202-233, 2015.

Baêta, F. C.; Souza, C. F. **Ambiência em edificações rurais e conforto térmico**. 1.ed. Viçosa: UFV, 1997. 246p.

Batista, P. H. D., Almeida, G. L. P., Tavares, U. E., Nascimento, V. N., & Sarmiento, R. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no Agreste Pernambucano. **Revista engenharia na agricultura-REVENG**, v.25, n.4,p. 307-317, 2017.

Bayat, H.; Sheklabadi, M.; Moradhaseli, M.; Ebrahimi, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, v.303, p.150-164, 2017.

Barbosa, V. V., Souza, W. M., Galvíncio, J. D., & Costa, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco–Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.2,p.353-367, 2016.

Barbosa Filho, J.A.D. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais, utilizando análise de imagens. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. **Dissertação de mestrado**, 2004.

Barbosa Filho, J.A. D. Caracterização quantitativa das condições bioclimáticas e produtivas nas operações pré-abate de frangos de corte. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. **Tese de doutorado**, 2008.

Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. R., Vergoplan, N., Berg, A., Wood, E.F.. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v.5, n.1, p.1-12, 2018.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bezerra, A. C., de Assunção Montenegro, A. A., Pandorfi, H., da Silva, J. R. L., de Andrade, C. W. L., & da Silva, W. P. (2016). Variabilidade espaço temporal da temperatura do solo sob diferentes coberturas no semiárido pernambucano. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v.5, n.3,p. 75-85, 2016.

Blainski, E.; Tormena, C. A.; Fidalski, J.; Guimarães, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

Carvalho, W. T. V., Minighin, D. C., Gonçalves, L. C., Villanova, D. F. Q., Mauricio, R. M., Pereira, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

Crawford, C. L.; Volenec, Z. M.; Sisanya, M.; Kibet, R.; Rubenstein, D. I. Behavioral and Ecological Implications of Bunched, Rotational Cattle Grazing in East African Savanna Ecosystem. **Rangeland Ecology & Management**. v.72, p.204-209, 2019.

Coêlho, D. L. Características estruturais e produtivas de *Brachiaria decumbens* Stapf. Em monocultivo e em sistemas silvipastoris, na Zona da Mata de Pernambuco. **Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco**. 2016.

Crawford, C. L.; Volenec, Z. M.; Sisanya, M.; Kibet, R.; Rubenstein, D. I. Behavioral and Ecological Implications of Bunched, Rotational Cattle Grazing in East African Savanna Ecosystem. **Rangeland Ecology & Management**. v.72, p.204-209, 2019.

Da Costa, J. A. A.; De Queiroz, H. P. Régua de manejo de pastagens. **Embrapa Gado de Corte-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

Da Silva, É. D. S. A., Santos, A. B. S., De Medeiros, L. C. L., Alberto, D., Dos Santos, M. A. L., De Araújo Gomes, M. D., Gomes, C. Variabilidade espacial da resistência a penetração em solo argiloso sob pastagem degradada/Space variability of penetration resistance in clay soil under degraded pasture. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.11, p.26570-26577, 2019.

Da Silva, M.V; Almeida, G.L.P; Batista, P.H.D; Pandorfi, H.; Macêdo, G.A.P.A; Mesquita, M.; Da Silva, R.A.B. Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do Solo em Área Cultivada com Palma Forrageira Resistente a Cochonilha do Carmim no Semiárido Nordeste. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, v.42, p.39-45, 2019.

De Oliveira, F. C.; Rakocevic, M. Adaptação de um método para medir o índice de área foliar (IAF) e sua aplicação para braquiária (*Brachiaria brizantha* Hochst ex A. Rich) em um sistema silvipastoril no Noroeste do Paraná. In: **embrapa florestas-resumo em anais de congresso (alice)**. In: **evento de iniciação científica da embrapa florestas**, v.2., 2003.

De Oliveira, R.P., Grego, C.R., Brandão, Z.N., Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper. **Embrapa Solos- Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2015.

De Paula Neto, J. J., Alexandrino, E., Dos Santos, A. C., Mendes Filho, G.O., DA SILVA, D. P., & MELO, J. C. Distribuição espacial da altura do dossel e efeito sobre a cobertura do solo em pastos mantidos em lotação contínua. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, 2014.

DI Piazza, Annalisa et al. Análise comparativa de diferentes técnicas de interpolação espacial de dados de chuva para criar uma série temporal mensal completa em série de precipitação para a Sicília, Itália. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** , v. 13, n. 3, p. 396-408, 2011.

Dias Filho, M. B. Degradação de pastagens: o que é e como evitar. **Embrapa Amazônia Oriental-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2017.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

Easlon, H. M; Bloom, A. J. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. **Applications in plant Sciences**. V. 2, n.7, 2014.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Dairy Production and Products – Milk Production**, 2019.

Disponível em: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/>. Acesso em: 15 maio 2020

Gamma Design Software. **GS+ - Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 7.0**. Michigan: 2004. 1 CD-ROM.

Golden Software. **Surfer for windows version 9.0**. Colorado, US: Golden, 2010.

Englund, E.; SPARKS, A., **Geostatistical environmental assessment software: User's guide. Geo-EAS 1.2.1**. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV (United States). Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1991.

Isaaks, EH e RM Srivastava. **Uma introdução à geoestatística aplicada**. Oxford University Press, Nova York, 1989.

Journel, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons: American Geophysical Union. **Short Course in Geology**, v. 8, p. 40, 1989.

Kemer, A. **Índices de conforto térmico para bovinos de leite no Planalto Catarinense**. Projeto de pesquisa (Ciências Rurais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2015.

Manziona, R. L.; & Zimback, C. R. L. Análise espacial multivariada aplicada na avaliação da fertilidade do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, p.227-235, 2011.

Miranda, J.E.C. e Freitas, A.F., Raças e tipos de cruzamentos para produção de leite. **Embrapa Gado de Leite, Circular Técnica**, nº 98, p.12, 2009.

Moral, F. J.; Rebollo, F. J.; Serrano, J. M. Estimating and mapping pasture soil fertility in a portuguese montado based on a objective model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.157, p.500-508, 2019.

Moura, G. A. B.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Jardim, A. M. R. F.; Alves, H; K. M. N.; Pinheiro, A. G.; Salvador, K. R. S.; Souza, L. F. Indicadores bioclimáticos e simulação de potenciais perdas econômicas da produção de leite em Pernambuco. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.417-427, 2019.

Nãas, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo. Editora ICONA: 1989. 183p.

Paciullo, D. S. C.; Gomide, CA de M. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, p. 167-186, 2016.

Pagotto, D. S., Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo. 2001. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

Piovezan, U., Dompieri, M. H. G., Centurion, S. R., Pellegrin, L. A., Receptores gps para estudo do comportamento espacial de bovinos em pastagens nativas do Pantanal. **Embrapa Pantanal. Documentos**, **153**, 2017.

Plainwell: **Gamma Design Software**, LLC, 2004. 160p.

Pulido, M.; Schnabel, S.; Lavado Contador, J. F.; Lozano-Parra, J.; González, F. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. **Land Degradation & Development**, v.29, p.219-230, 2018.

Reinert, D. J.; Gubiani, P. I.; Reichert, J. M. Indicadores hídrico-mecânicos decompactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1-10, 2013.

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. C.; Nascimento, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v.55, n.3, p.455-459, 2011.

Santos, C. F. Physical properties of three classes of soils cultivated with sugarcane in mechanized harvesting. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p.940-949, 2011.

Santos, K. S.; Montenegro, A. A.; Almeida, B. G. D.; Montenegro, S. M.; Andrade, T. D. S.; Júnior, F. Spatial variability of physical attributes of soil in alluvial valley of semiarid region of Pernambuco State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 828-835, 2012.

Silva, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.

SILVA, R.Â. B.D; Pandorfi, H.; Almeida, G.L.P.D.; Montenegro, A.A.D.A.,Silva,M.V.D Spatial Dependence of Udder Surface Temperature Variation in Dairy Cows with Healthy Status and Mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 20, 2019.

Silva, T. G. F.; Turco, S. H. N.; Zolnier, S.; Moura, M. S. B.; Sá, I. I. S. Variação regional do declínio da produção de leite durante do verão no Estado de Pernambuco. **Engenharia na Agricultura**, v. 16, n. 1, p. 109-123, 2008.

Silveira, D. C.; Melo Filho, J. F.; Sacramento, J. A. A. S.; Silveira, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

Soil Science Division Staff. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). **USDA Handbook 18**. Government Printing Office, Washington, D.C. 2017.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 2013.

Sorensen, P. H. Influencia del ambiente climatico en la production del cerdo. In: MORGAN, J. T. **Nutricion de aves y cerdos**. p. 97-116, 1964

Souza, B. B.; Silva, R. M. N.; Marinho, M. L.; Silva, G. A.; Silva, E. M. N.; Souza, A. P. Parâmetros Fisiológicos e Índice de Tolerância ao Calor de Bovinos da Raça Sindi no Semi-árido Paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000300040>

Steffens, J. Y. L. **A bovinocultura leiteira no município de Salvador das Missões-RS**. 2018.

Stolf, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.15, p.229-235, 1991.

Tavares, U. E.; Montenegro, A. A. A.; Rolim, M. M.; Silva, J. S. S.; Vicente, T. F. S.; Andrade, C. W. L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, p.79-89, 2014.

Thom, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.

Vauclin, M.; Vieira, S.R.; Vachaud, G & Nielsen, D.R. The Use of Cokriging with limited Field Soil Observation 1. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, n.2, p. 175-184, 1983.

Vieira, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo: In Novais, R.F.; Alvarez V., V. H.; Schaefer, C. E. G. R. eds. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p.1-55, 2000.

Von Müller, A. R.; Renison, D.; Cingolani, A. M. Cattle landscape selectivity is influenced by ecological and management factors in a heterogeneous mountain rangeland. **The Rangeland Journal**, v.39, p.1-14, 2017.

Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**.p.319-344, 1980

CAPÍTULO III: Monitoramento espaço-temporal de um sistema de pastejo rotacionado por meio de imagens de veículo aéreo não tripulado e satélite

RESUMO: Devido a necessidade do produtor de realizar um eficiente manejo das pastagens, faz-se necessário estudos que abordem a aplicação de tecnologias remotas com custo mais acessíveis e que auxiliem no processo de tomada de decisão. Objetivou-se com o presente estudo, investigar e acompanhar a variação espaço-temporal de um piquete rotacionado, por meio de imagens provenientes de veículos aéreo não tripulado e satélite, bem como sua relação com a distribuição espacial dos animais. Foram utilizados índices de vegetação Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), Green Leaf Index (GLI) e o Visible Atmospherically Resistent Index (VARI), obtidos no espectro do visível (RGB) por meio de imagens adquiridas por veículo aéreo não tripulado (VANT). O índice de degradação da pastagem (IDP), entre a 1ª passagem em agosto e a 2ª passagem em setembro apresentaram decréscimo da vegetação na ordem de 97%. Dentre os índices de vegetação na região do visível destacou-se o VARI apresentando intervalos mínimos e máximos, entre -0,207 e 0,200. Associando o índice VARI e os mapas de densidade de Kernel avaliou-se a área de preferência dos animais. Utilizando análise multivariada por meio de análise de componentes principais determinou-se a equação para obtenção do IAF ajustado a região do visível, aplicando os índices de vegetação RGB. Utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2 para aplicação dos índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF). Com isso, obteve-se valores máximo e mínimo de IAF de 3,00 e 0,00, valores próximos ao encontrado in loco onde os valores máximo e mínimo encontrados foram de 3,60 e 0,60.

Palavras-chave: imagem RGB, índices de vegetação, manejo da pastagem, sensores multiespectrais, pastagem degradada.

Time-space monitoring of a rotated grazing system using unmanned aerial vehicle and satellite images

ABSTRACT: Due to the need of the producer to carry out an efficient management of pastures, studies are needed that address the application of remote technologies with more accessible cost and that assist in the decision-making process. The aim of this study was to investigate and monitor the space-time variation of a rotated picket, using images from unmanned aerial vehicles and satellites, as well as their relationship with the spatial distribution of animals. Vegetation indexes Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), Green Leaf Index (GLI) and the Visible Atmospherically Resistent Index (VARI), obtained in the visible spectrum (RGB) through images acquired by unmanned aerial vehicle (UAV), were used). The pasture degradation index (IDP), between the 1st pass in August and the 2nd pass in September, showed a decrease in vegetation in the order of 97%. Among the vegetation indices in the visible region, the VARI stood out with minimum and maximum intervals, between -0.207 and 0.200. By associating the VARI index and the Kernel density maps, the animals' preferred area was evaluated. Using multivariate analysis by means of principal component analysis, the equation for obtaining the IAF adjusted to the visible region was determined, applying the RGB vegetation indices. Images from the Sentinel-2 satellite were used to apply the Normalized Difference Vegetation (NDVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Leaf Area Index (IAF). Thus, maximum and minimum IAF values of 3.00 and 0.00 were obtained, values close to those found in loco where the maximum and minimum values found were 3.60 and 0.60.

Keywords: RGB image, vegetation indices, pasture management, multispectral sensors, degraded pasture.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da forragem na área de pasto é de fundamental importância para que haja o entendimento da variação espaço-temporal da área e sobre a sua relação com os animais, obtendo dados que possibilitarão auxiliar nos processos de tomada de decisão sobre o adequado manejo das pastagens (Andersson et al., 2017).

Como alternativa para os métodos diretos de obtenção de dados, o sensoriamento remoto é uma opção que possui ótimo retorno quanto a acurácia dos dados, muitos autores, além de descreverem os bons resultados encontrados, também relatam as diversas funcionalidades de suas aplicações e da facilidade de obtenção de dados, em comparação a outras metodologias (Punalekar et al., 2018; Edirisinghe et al., 2011; Pullanagari et al., 2018; Wang et al., 2019).

Apesar da boa correlação entre os índices gerados pelo satélite e os valores encontrados no campo, a resolução temporal e espacial das imagens dos satélites são fatores limitantes para identificação da biomassa em piquetes menores que 20 hectares (Dos Reis et al., 2020).

Como forma de sanar as dificuldades encontradas para obtenção de dados agropecuários em pequenas áreas, tem-se utilizado os veículos aéreos não tripulados (VANT) equipado com câmera RGB, como uma alternativa ao uso de satélites e a sensores aerotransportados onerosos e de difícil obtenção. A aplicação das imagens em composição colorida, para aplicação de índices de vegetação, com base na reflectância no visível, é uma opção simples e de menor custo, comparada aos recursos necessários para obtenção dos índices do infravermelho próximo (Serra, 2014; Otake, 2017; Jannoura et al., 2015; Araus et al., 2018).

De acordo com Macedo et al. (2013), a degradação de pastagens se destaca como um dos principais problemas a serem sanados pela pecuária brasileira. Entende-se como estágio de degradação de pastagem, a vegetação que está em processo de perda de produtividade, não suprimindo as necessidades nutricionais dos animais, além de ficar mais susceptível ao ataque de doenças e pragas (Dias-Filho, 2011). Karnieli et al. (2013) aponta como alternativa o uso de ferramentas geotecnológicas no auxílio da avaliação do estágio de degradação das pastagens, por meio dos índices de vegetação gerados pelas tecnologias remotas.

Os procedimentos de auxílio a gestão de pastagem, pela obtenção de imagens por meio de veículo aéreo não tripulado, com a aplicação de índices de vegetação utilizando o espectro do visível (Green Leaf Index-GLI, Visible Atmospherically Resistent Index-VARI e Normalizes Green Red Difference Index-NGRDI) e a associação de imagens de satélite (Sentinel-2) por meio de índices de vegetação utilizando o infravermelho próximo (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo-SAVI e Índice de Área Foliar - IAF) permitem avaliar a distribuição da vegetação na área de pastejo, assim como, o nível de degradação da pastagem.

Dessa forma, objetivou-se com o presente estudo, investigar e acompanhar a variação espaço-temporal de um piquete rotacionado, por meio de imagens provenientes de veículos aéreo não tripulado e satélite, bem como sua relação com a distribuição espacial dos animais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns, Mesorregião do Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 58'S, longitude de 36° 27'W e altitude de 866 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como savana tropical (Aw) (Beck et al., 2018). A temperatura média anual varia de 20 a 22°C e a precipitação entre 751 a 1000 mm anuais (Azambuja & Côrrea, 2015), em que o período de maior índice pluviométrico está entre os meses de fevereiro a junho, com destaque para o mês de junho, como o ápice do período chuvoso. Após o mês de junho, inicia-se o decréscimo da precipitação, até agosto e setembro, como período de baixa pluviosidade, sendo os meses entre outubro e dezembro, caracterizados como de baixíssima ou nula precipitação (Barbosa et al., 2016). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) o solo do local é classificado como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2018).

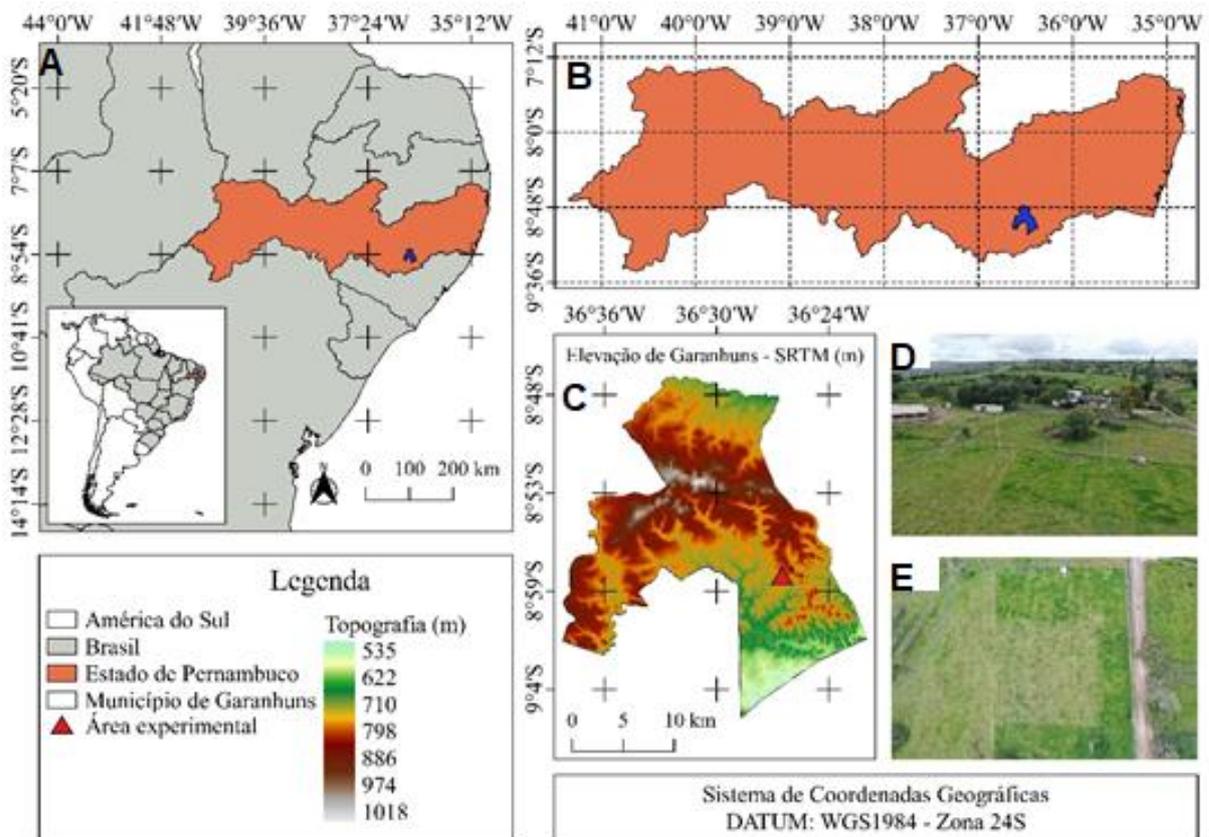


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no Brasil (A); Mapa de localização da área de estudo em Pernambuco (B); Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns-PE (C); Imagem RGB da Fazenda Experimental (D); Imagem RGB do local da área de estudo (E).

O estudo foi realizado entre 06/08/2019 e 15/11/2019, de forma a observar a capacidade de resiliência da pastagem, em piquete de 50 m x 50 m, delimitado por cerca eletrificada, sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, utilizando pastejo rotacionado. Os períodos utilizados de ocupação e descanso do piquete foram de 7 e 28 dias, respectivamente.

Foram utilizadas quatro vacas Girolando, com taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹, com liberação dos animais no piquete quando o pasto alcançou em média 0,4 m de altura, valores próximos aos recomendados por Paciullo et al., (2016). Anexo ao piquete, ou seja, fora da área de pastagem, o sistema de contenção dos animais dispunha nas extremidades laterais, áreas para acesso ao bebedouro e outra à sombra (área de descanso) de livre acesso aos animais. A área de descanso foi composta por um cajueiro, *Anacardium occidentale*, de aproximadamente 12 m de

altura, que disponibilizava para os animais uma área de sombreamento natural de aproximadamente 25 m² (Figura 2).

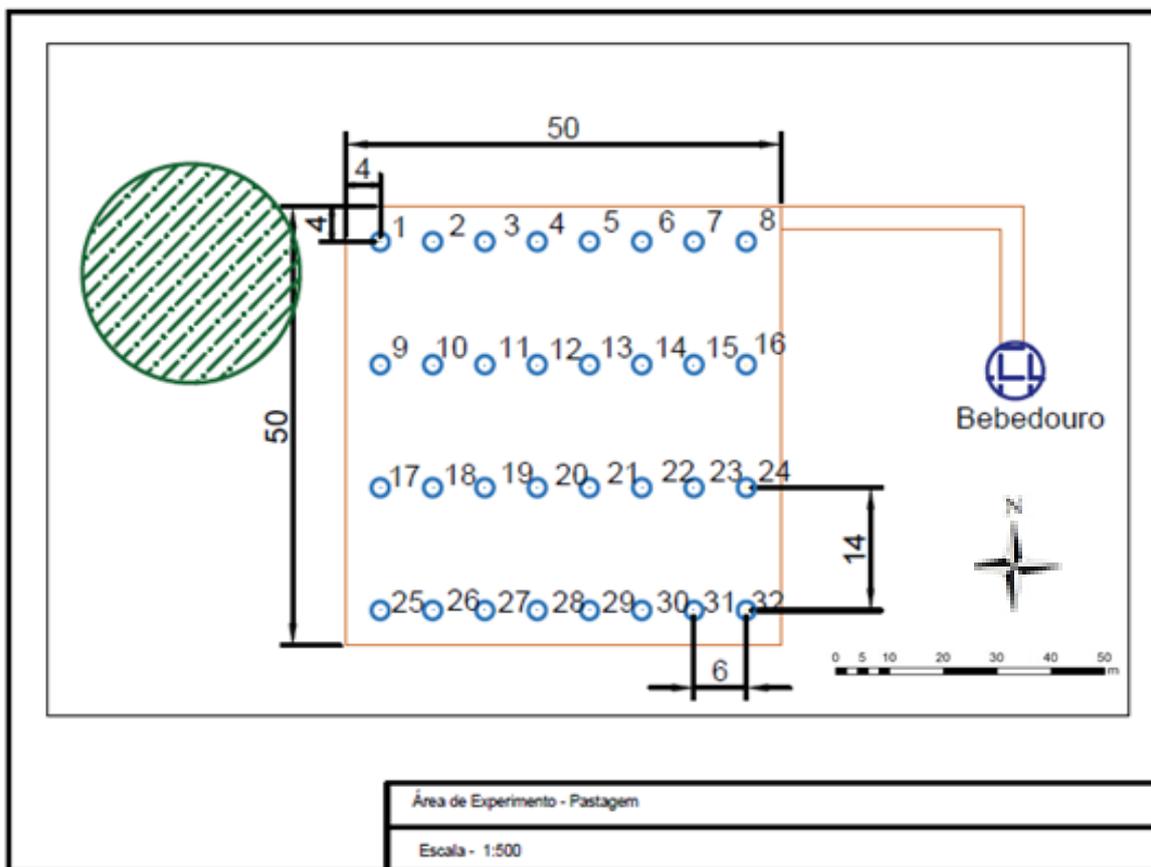


Figura 2. Croqui da área de monitoramento do pasto (50 m x 50 m) em malha regular (espaçamento entre linhas de 14 m, entre pontos de coleta de 6 m e com bordadura de 4 m); pontos de amostragem (○); área de descanso dos animais (///); localização do bebedouro (☺).

Variável Meteorológica

Por meio da estação meteorológica automática, instalada na fazenda experimental, Campbell Scientific, modelo CR200X, registrou-se diariamente o índice pluviométrico por todo o período do experimento.

Variáveis biofísicas da forragem e do solo

Na área do piquete foram registradas as variáveis biométricas da forragem e do solo, nos 32 pontos de amostragem (Figura 2), a altura de dossel (m), a massa fresca da parte aérea (kg), a massa seca da parte aérea (kg), a massa seca de raiz

nas profundidades 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (kg), a densidade de forragem (kg de MS $\text{cm}^{-1}\text{cm}^{-2}$), o índice de área foliar (m^2/m^2) e a resistência a penetração do solo (MPa).

A altura de dossel (m) foi determinada por meio de trena graduada, posicionando a trena na curvatura da folha mais altas até o solo, em cada ponto de registro (Coêlho, 2016).

A massa fresca e seca da parte aérea foram obtidas a partir do corte da forragem a 5 cm do solo, com auxílio de uma tesoura de poda. Foi realizado o corte de toda forragem contida na área de 0,25 m^2 , delimitada por um quadro amostrador de madeira, com dimensões de 0,50 x 0,50 m (Coêlho, 2016). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel kraft e pesadas em balança digital Elgin DP-3000 plus (precisão de 1g) para obtenção da massa fresca (MF, kg), posteriormente, as mesmas amostras foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas e, em seguida, pesadas, para obtenção da massa seca (MS, kg).

A densidade da forragem (DF) foi calculada conforme equação (1) proposta por Drumond & Aguiar, (2005), expressa em g de MS $\text{cm}^{-2}\text{cm}^{-1}$, sendo obtida a partir da relação da massa seca da forragem acumulada da gramínea (MSPA) pela altura média do dossel forrageiro (altD) para cada amostra (cm).

$$DF = \frac{MSPA}{altD} \quad (1)$$

A massa seca da raiz foi determinada em duas profundidades, de 0,00-0,10 e de 0,10 - 0,20 m, coletadas por uma sonda de percussão para amostra de raiz (Figura 3). As amostras de solo foram lavadas com água corrente em peneira de 2,00 mm, para o descarte do solo e retenção das raízes (Silva et al., 2019). Após a lavagem, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada a 65°C por 72 h e por fim, pesadas em balança semi-analítica Marte AD 330 (precisão de 0,001g) para obtenção da massa seca de raiz (kg).



Figura 3. Sonda de percussão para coleta de amostra de raiz (A); peneira de 2,00 mm para remoção do solo (B); coleta em campo da amostra de raiz (C).

Para obtenção do índice de área foliar (IAF) foi utilizado o aplicativo Easy Leaf Area Free, por meio da metodologia recomendada por Easlon e Bloom (2014), que após calibração prévia, para melhor acurácia dos resultados, foi registrado imagens por câmera fotográfica com enquadramento da área do amostrador de 0,25 m².

O algoritmo utilizado para calcular os valores do IAF usa regressões lineares dessas relações, para estimar o limite mínimo ideal de G (Green), a razão G (Green) / R (Red) e a razão G (Green) / B (Blue), a partir dos pixels mais verdes da folha em uma imagem.

O algoritmo usa as seguintes equações (2, 3 e 4) para calcular os critérios de seleção automatizados:

$$\text{Limiar verde (G)} = 1,223 \times (\text{média do maior valor do verde (G)}) - 111 \quad (2)$$

$$G/R = 0,360 \times (\text{m\u00e9dia do maior valor do verde } (G)/R) + 0,589 \quad (3)$$

$$G/B = 0,334 \times (\text{m\u00e9dia do maior valor do verde } (G)/B) + 0,534 \quad (4)$$

A determina\u00e7\u00e3o da resist\u00eancia do solo \u00e0 penetra\u00e7\u00e3o (RP) foi realizada por meio de penetr\u00f4metro de impacto, modelo IAA/Planalsucar/Stolf, em que o n\u00famero de impactos dm^{-1} foi transformado em resist\u00eancia din\u00e2mica (MPa) por meio da Eq. (5) proposta por STOLF (1991).

$$RP = \frac{M + m + \left(\frac{M}{M + m} \times \frac{M \times h}{x} \right)}{A} \quad (5)$$

em que: RP - Resist\u00eancia do solo \u00e0 penetra\u00e7\u00e3o, kgf cm^{-2} ($\text{kgf cm}^{-2} \times 0,098 = \text{MPa}$);

M - Massa do \u00e2mbolo, 4 kg;

m - Massa do aparelho sem \u00e2mbolo, 3,2 kg;

h - Altura de queda do \u00e2mbolo, 40 cm;

x - Penetra\u00e7\u00e3o da haste do aparelho, cm por impacto;

A - \u00c1rea do cone, $1,29 \text{ cm}^2$.

Ap\u00f3s a determina\u00e7\u00e3o da resist\u00eancia do solo a penetra\u00e7\u00e3o, ela foi classificada como baixa ($RP < 0,1 \text{ MPa}$); intermedi\u00e1ria ($0,1 \leq RP \leq 2,0 \text{ MPa}$); alta ($2,0 < RP \leq 4,0$) e muito alta ($RP > 4,0 \text{ MPa}$) de acordo com recomenda\u00e7\u00e3o da Soil Science Division Staff, (2017).

Imageamento por VANT usando c\u00e2mera RGB

O imageamento sobre as \u00e1reas de estudo ocorreram em condi\u00e7\u00f5es de ilumina\u00e7\u00e3o consistente, dias claros e ensolarados, evitando-se a proje\u00e7\u00e3o das sombras das nuvens, a fim de n\u00e3o interferir nos valores encontrados. Dessa forma, realizou-se sete sobrevoos no decorrer do per\u00edodo de pastejo (105 dias), antes da

entrada e após a entrada dos animais de forma a completar cada ciclo (35 dias), a última imagem foi realizada com a finalidade de verificar a capacidade de resiliência do pasto após o período de descanso. (Figura 4).

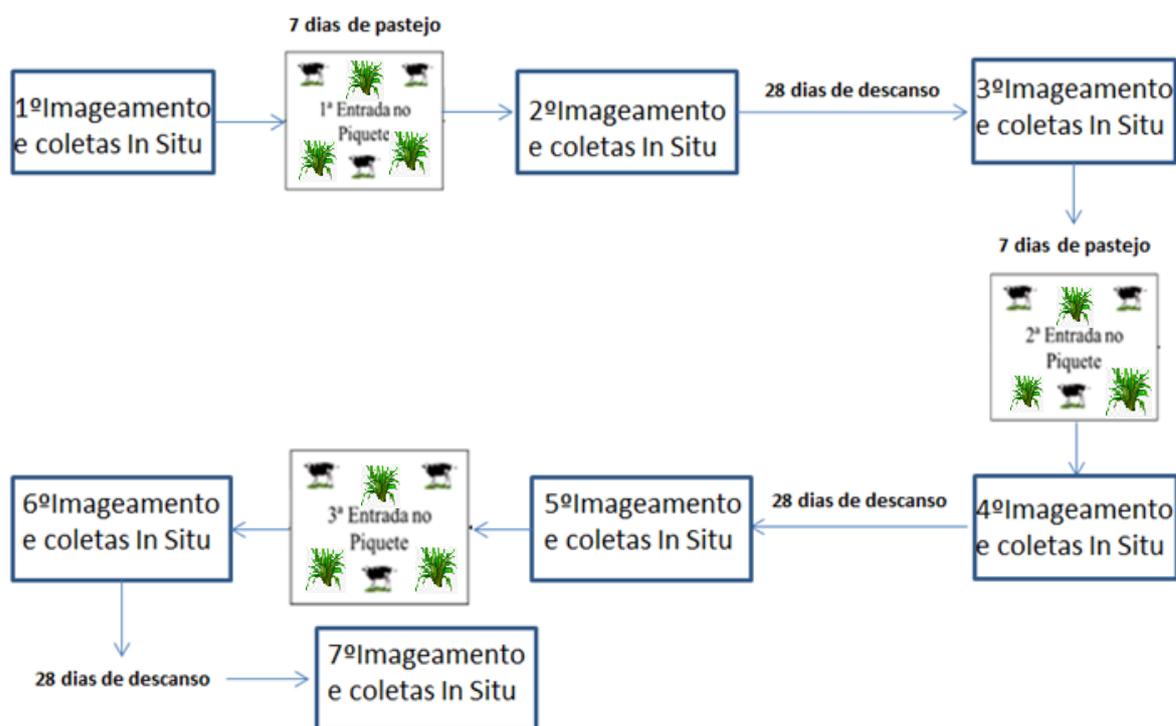


Figura 4. Ciclo de pastejo e período de imageamento da área de estudo.

Para obtenção das imagens foram utilizadas o drone DJI modelo Phantom 3 advanced, portando, as seguintes especificações de câmera: 1/2.3" CMOS, pixels efetivos de 12,4 M (total pixels: 12,76 M), sendo posicionado a uma altura de aproximadamente 120 m acima do solo, com a finalidade de compreender toda a dimensão da área de estudo, para obtenção de uma única fotografia do piquete.

Realizou-se a padronização dos arquivos em formato shp (shapefiles) das sete imagens obtidas, reportando-as para o sistema de projeção UTM (Universal Transverse Mercator – sistema de coordenada), Datum WGS 84 (World Geodetic System – sistema geocêntrico de referência), zona 24 Sul. Fez-se necessário o procedimento de separação e divisão das bandas espectrais da imagem RGB para a aplicação dos cálculos de índice de vegetação, sendo assim, utilizou-se o software QGIS 3.10.14, através de sua integração com o SAGA GIS.

Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para calcular os índices de vegetação na região do visível (Tabela 1), sendo elas a Normalized green red difference index (NGRDI) (Tucker et al., 1979), o Visible atmospherically resistant index (VARI) (Gitelson et al., 2002) e o Green leaf index (GLI) (Louhaichi et al. 2001).

Tabela 1. Índices de vegetação aplicados no estudo que compreendem o espectro do visível.

NOME	SIGLA	EQUAÇÃO	AUTOR
NORMALIZED GREEN RED DIFFERENCE INDEX	NGRDI	$(R_g - R_r)/(R_g + R_r)$	Tucker (1979)
GREEN LEAF INDEX	GLI	$(2 \cdot R_g - R_r - R_b)/(2 \cdot R_g + R_r + R_b)$	Louhaichi et al. (2001)
VISIBLE ATMOSPHERICALLY RESISTENT INDEX	VARI	$(R_g - R_r)/(R_g + R_r - R_b)$	Gitelson et al. (2002)

Nota: (NGRDI- índice de diferença verde vermelho normalizado; GLI- índice de folha verde; VARI- índice de resistência visível atmosféricamente; R- reflectância; Rg- verde; Rr- vermelho; Rb- azul.)

Análise dos parâmetros biofísicos por componentes principais

Para verificar as possíveis correlações entre as variáveis coletadas no campo e os índices de vegetação obtidos pela análise de imagem (VANT) foi realizada a análise exploratória dos dados, implementada por meio da técnica de análise de componentes principais (ACP), na qual foram admitidas onze variáveis, sendo estas, massa fresca da parte aérea (kg), massa seca da parte aérea (kg), massa seca de raiz nas profundidades 0-0,10 e 0,10-0,20 m (kg), densidade de forragem (kg de MS $\text{cm}^{-1}\text{cm}^{-2}$), índice de área foliar (m^2/m^2) e resistência a penetração do solo nas profundidades 0-0,10 e 0,10-0,20 m (MPa), obtidas a partir da avaliação de campo, além dos índices de vegetação da área do visível (NGRDI, GLI e VARI), extraídos dos pixels das imagens.

A partir dos componentes principais, a matriz de covariância foi obtida para extrair os autovalores que se originam dos autovetores. Para identificar as variáveis que apresentaram correlação, foi utilizado o critério de Kaiser, considerando os autovalores acima de 1, que geram componentes com quantidade relevante de informações contidas nos dados originais (Kaiser, 1958).

Desta forma, foi possível estabelecer um modelo que caracterizasse o índice de área foliar ajustado para os índices na região do visível (IAF ajustado), por meio das principais variáveis preditoras que se correlacionaram com o IAF adquiridos por meio do software Easy Leaf Area Free.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) unilateral, adotando-se um valor de $P < 0,05$, ou seja, a 95% de significância e, as variáveis preditoras ajustadas a modelos estatísticos. O programa utilizado para gerar todas as análises estatísticas foi o R versão 3.6.1 (R Core Team, 2019).

Monitoramento da atividade dos animais

Para investigação da relação da área de preferência dos animais com o índice de vegetação RGB, foi realizado o monitoramento da atividade dos animais por meio de um sistema embarcado nos animais, desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) e do Departamento de Estatística e Informática (DEINFO) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O sistema de monitoramento contou com sistema de posicionamento geográfico (GPS) conectados a microcontroladores (Arduino e Shield GPS), responsáveis por registrar e armazenar os dados de posicionamento dos animais, alimentado por baterias de 3800 mAh com autonomia de 15 horas (Figura 5 A) e fixado nos animais por coleira de couro, presa ao pescoço de cada animal (Figura 5 B).

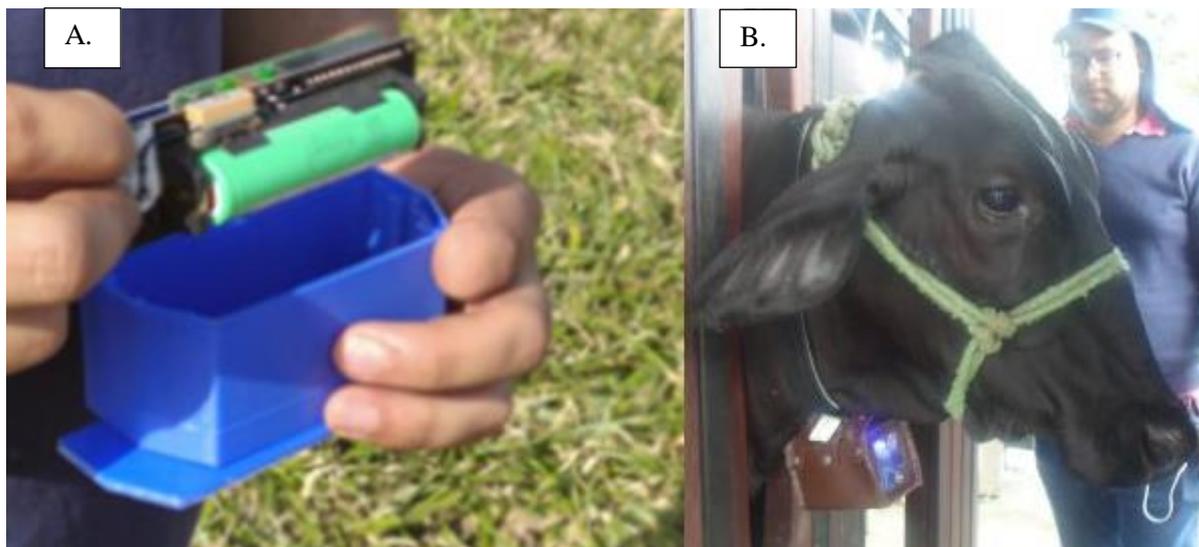


Figura 5. Microcontrolador com GPS e bateria de alimentação (A); coleira de couro com microcontrolador fixado no animal (B).

Os registros da atividade dos animais provenientes do GPS foram programados para armazenamento de dados a cada minuto, sendo responsável por registrar o posicionamento dos animais na área durante o período de pastejo, permitindo espacializar a distribuição dos animais no campo de pastejo e, com isso, definir possíveis regiões de preferência no decorrer do período de pastoreio (sete dias).

O equipamento apresentou erro médio de 6,5%, ou seja, 0,65 m a cada 10 m, de acordo com o teste de precisão realizado pela metodologia de JESUS (2014), apresentando-se como um efetivo GPS alternativo.

Assim, como descrito por Neves et al. (2015), para produção dos mapas de localização foi aplicada a estimativa de intensidade Kernel (densidade de Kernel), calculada com base no número de pontos no local, ou seja, quanto maior o número de pontos agrupados, maior a densidade. Para aplicação desta metodologia foi empregado o software Qgis 3.10.14, com a extensão Heatmap plugin para geração do mapa de preferência/localização dos animais.

Grau de degradação da pastagem

Para o acompanhamento sobre os possíveis estágios de degradação do pasto no decorrer do experimento, foram realizadas adaptações sobre o método

recomendado por GAO et al., (2006) em que inicialmente foi estimado a fração de cobertura vegetal por meio da equação 6:

$$FCV = \frac{VARI - VARI_s \times 100\%}{VARI_v - VARI_s} \quad (6)$$

em que: FVC é a fração de cobertura vegetal; VARI_s é o valor mínimo de VARI, referindo-se o mais próximo do solo descoberto na área de estudo, e VARI_v é o VARI é o valor médio de vegetação pura ou o valor máximo de VARI.

Posteriormente, foi aplicado a classificação quanto aos graus de degradação de pastagem na área de estudo, dividindo-se em não degradado (ND), pouco degradado (PD), moderadamente degradado (MoD), muito degradado (MuD) e extremamente degradado (ED), com isso foram determinados parâmetros e padrões baseados na classificação e em pontuações após a avaliação (Tabela 2).

Tabela 2. Sistema de índices de avaliação, critérios e classificação do monitoramento de sensoriamento remoto de degradação da pastagem na fazenda experimental da UFRPE em Garanhuns-PE.

Parâmetro	Grau de degradação	Classificação da pastagem
Cobertura vegetal de Pastagem (CVP)	ND (1)	CVP > 90%
	PD (2)	90 ≥ CVP > 75%
	MoD (3)	75 ≥ CVP > 60%
	MuD (4)	60 ≥ CVP > 30%
	ED (5)	CVP ≤ 30%

ND: Não degradado; PD: Pouco degradado; MoD: Moderadamente degradado; MuD: Muito degradado e ED: Extremamente; o número entre parênteses indica a pontuação do grau de degradação da pastagem

Com base no CVP (Cobertura vegetal de pastagem), foram calculados o índice de degradação de pastagem (IDP), pela equação 7:

$$IDP = (\sum_{i=1}^5 (Di \times Pixels_i)) / Pixels_{total} \quad (7)$$

em que: D_i é a pontuação de classificação da degradação de pastagem; Pixels i é a área de distribuição do grau de degradação (em pixels) e Pixels total é o valor total de pixels da área de pastagem em estudo.

Para classificação dos padrões da degradação da pastagem foi utilizado os critérios apresentados na Tabela 3, sendo a cobertura vegetal analisada de forma a distinguir os padrões de distribuição espaço-temporal da área de estudo.

Tabela 3. Índice de avaliação integrada de degradação de pastagem na fazenda experimental da UFRPE em Garanhuns-PE.

Índices de degradação de pastagem (IDP)	Status de degradação das pastagens
$IDP \leq 1$	não degradado (ND)
$1 < IDP \leq 2$	pouco degradado (PD)
$2 < IDP \leq 3$	moderadamente degradado (MoD),
$3 < IDP \leq 4$	muito degradado (MuD)
$4 < IDP$	extremamente degradado (ED)

Dados orbitais

Para a aplicação das imagens orbitais, utilizou-se o satélite Sentinel-2, equipado com sensor multiespectral (MSI). A resolução espacial deste sensor é de 10 metros nas bandas de interesse e sua resolução radiométrica de 16 bits, utilizando o critério de 10% de máxima incidência de nuvens nas imagens e respeitando o período e frequência de revisita do satélite. Também se considerou a qualidade das imagens e o período compreendido entre o início e término da pesquisa. Quatro imagens foram obtidas pelo portal Copernicus Open Access Hub da Esa (European Space Agency) empresa Copernicus próximas as seguintes datas: 13/08/2019, 10/09/2019, 16/10/2019 e 15/11/2019.

Na Tabela 4 observa-se as bandas espectrais do sensor MSI, que foram utilizadas para a aplicação dos índices de vegetação, refletâncias no topo da atmosfera das bandas: B08 – Infravermelho próximo (NIR) e B04 – Vermelho, para composição colorida das imagens foram utilizadas as bandas B02- Azul, B03 - Verde e B04 - Vermelho.

Tabela 4. Características das bandas espectrais do MSI Sentinel-2 utilizadas no presente trabalho.

Banda	Nome Da Banda	Comprimento Da Onda (nm)	Largura Da Banda(nm)	Resolução Espacial (m)
B02	Blue/Azul	490	65	10
B03	Green/Verde	560	35	10
B04	Red/Vermelho	665	30	10
B08	Nir/Infravermelho próximo	842	115	10

(Fonte: Copernicus.EU, 2020)

Realizou-se a padronização dos shapefiles e das cenas orbitais, reportando-as para o sistema de projeção UTM WGS 84, zona 24 Sul, minimizando assim, o máximo dos efeitos da curvatura da terra.

Por fim, aplicou-se as técnicas de geoprocessamento por meio do software QGis versão 3.10.14, para estimativa dos índices de vegetação, sendo esses: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) (Huete, 1988); e o Índice de área foliar (IAF) (Allen; Tasumi; Trezza, 2002) (Tabela 5).

Tabela 5. Índices de vegetação aplicados no estudo que compreendem as bandas multiespectrais.

Nome	Abreviatura	Equação	Autor
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	NDVI	$\frac{I_{vp} - V}{I_{vp} + V}$	Rouse Et Al., (1974)

Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	SAVI	$\frac{(1 + L) - (NIR - RED)}{NIR + RED + L}$	Huete, (1988)
Índice de Área Foliar	IAF	$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$	Allen; Tasumi; Trezza, (2002)

NDVI - Índice Vegetal por Diferença Normalizada; IVP – refletância na banda do Infravermelho próximo (0,76 a 0,90 micrômetros); V – refletância na banda do Vermelho (0,63 a 0,69 micrômetros).

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo; NIR - Banda do Infravermelho próximo (0,76 a 0,90 micrômetros); RED - Banda do Vermelho (0,63 a 0,69 micrômetros). L – Fator de ajuste para o substrato do dossel, onde foi aplicado o valor de 0,5 assim como o recomendado por Huete e Liu (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos parâmetros biofísicos e dos índices de vegetação por componentes principais

De acordo com Macciotta (2012), a análise de componentes principais fundamenta-se em uma técnica de estatística multivariada que tem como finalidade transformar linearmente um conjunto de dados de diversas variáveis.

As análises de componentes principais foram realizadas objetivando identificar a relação dos índices de vegetação gerados pela obtenção das imagens RGB (GLI, NGRDI e VARI) e as variáveis biométricas (MFPA, MSPA, IAF, DF, MSR nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20m) e a resistência do solo a penetração nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m adquiridas no campo.

De acordo com o critério de Kaiser (1958) e Fraga et al. (2016) os autovalores das duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2, respectivamente) foram maiores que 1 para todos os meses e passagens dos animais pelo piquete no período estudado (Tabela 6), antes da entrada dos animais em agosto na ordem de 3,870 (PC1) e 2,400 (PC2); após a saída dos animais em agosto na ordem de 3,520 (PC1) e 2,140 (PC2); antes da entrada dos animais em setembro na ordem de 3,234 (PC1) e 2,124 (PC2); após a saída dos animais em setembro na ordem de 3,663 (PC1) e 2,021 (PC2); antes da entrada dos animais em outubro na ordem de 3,340 (PC1) e 2,544 (PC2); após a saída dos animais em outubro na ordem de 3,291 (PC1) e 2,042

(PC2), após o período de descanso do pasto em novembro na ordem de 3,247(PC1) e 1,873 (PC2).

Os resultados indicaram variância total dos meses estudados (Tabela 6), ou seja, de agosto, antes da entrada dos animais (1ª passagem), a novembro, após o período de descanso do pasto, com valores da ordem de 35,16; 31,99; 29,39; 33,29; 39,36; 29,91 e 29,51%, respectivamente. Identificou-se a variância acumulada referente a 1ª passada em agosto, antes da entrada dos animais, na ordem de 50,96%; na 1ª passada, após a saída dos animais em agosto, de 51,45%; na 2ª passada em setembro, antes da entrada dos animais, na ordem de 48,70%; na 2ª passada após a saída dos animais na ordem de 51,67%; na 3ª passada em outubro, antes da entrada dos animais, na ordem de 53,48%; na 3ª passada em outubro, após a saída dos animais na ordem de 48,47% e por fim, após o período de descanso do pasto em novembro, na ordem de 46,54%,

Tabela 6. Componentes principais (PC1 e PC 2) dos parâmetros biofísicos da pastagem, resistência a penetração do solo e dos índices de vegetação aplicados no espectro do visível.

Agosto				
Fatores	Antes da entrada dos animais		Após saída dos animais	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Autovalor	3,870	2,400	3,520	2,140
Proporção	35,160	21,800	31,990	19,460
Acumulado	35,160	56,960	31,990	51,450

Setembro				
Fatores	Antes da entrada dos animais		Após saída dos animais	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Autovalor	3,234	2,124	3,663	2,021
Proporção	29,398	19,309	33,297	18,376
Acumulado	29,398	48,707	33,297	51,672

Outubro				
Fatores	Antes da entrada dos animais		Após saída dos animais	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Autovalor	3,340	2,544	3,291	2,042
Proporção	30,361	23,124	29,916	18,562
Acumulado	30,361	53,485	29,916	48,478

Novembro		
Fatores	Após o período de descanso do pasto	
	CP1	CP2
Autovalor	3,247	1,873
Proporção	29,519	17,026
Acumulado	29,519	46,545

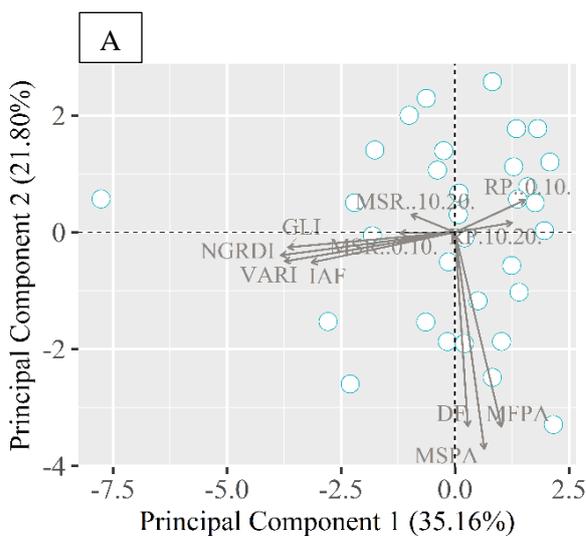
Nota: Os valores em negrito representam a soma dos componentes principais 1 e 2.

As duas componentes principais aplicadas no decorrer de todo o experimento explicaram a variância total referente a antes da entrada dos animais em agosto na ordem de 56,96%, após a saída dos animais em agosto em 51,45%, antes da entrada dos animais em setembro em 48,70%, após a saída dos animais em setembro em 51,67%, antes da entrada dos animais em outubro em 53,48%, após a saída dos animais em outubro em 48,47% e em novembro após o período de descanso do pasto na ordem de 46,54%.

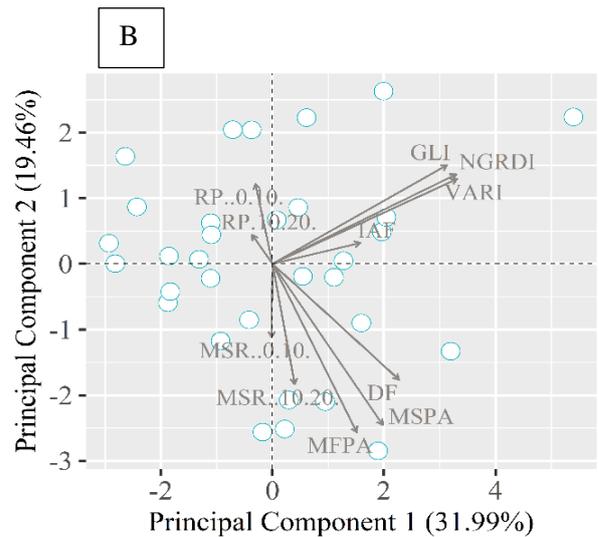
A variabilidade do conjunto total de dados analisados possibilitou interpretar satisfatoriamente o comportamento dos dados com considerável simplificação (CRUZ,1987), com isso, permitindo a projeção em um gráfico de dispersão bidimensional, também conhecido como gráfico biplot (CRUZ & REGAZZI,1997; HONGYU et al. 2015), o qual pode ser visualizado na Figura 6.

Silva et al. (2021), utilizando as imagens do satélite Sentinel-2 por meio de índices de vegetação, estabeleceram um modelo de caracterização da cobertura vegetal em áreas de produção agrícola. Para a efetiva realização do modelo, foram

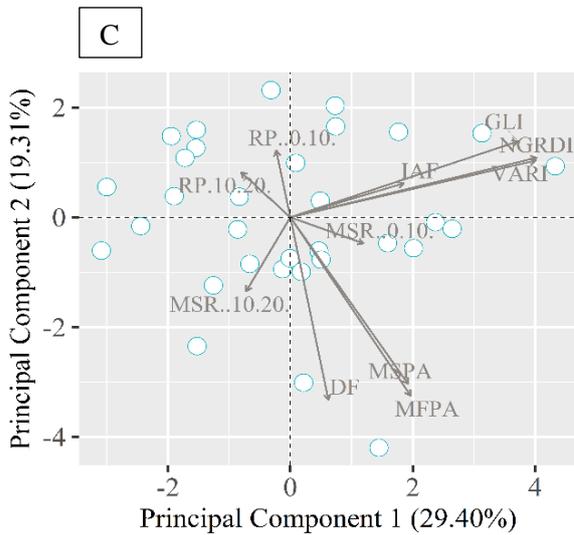
relacionados aos índices vegetativos as variáveis referentes a características físicas do solo e morfométricas das plantas, sintetizando as variáveis multidimensionais em diagramas ordenando os eixos de acordo com suas similaridades. No presente estudo foram identificadas correlações entre os índices de vegetação na região do visível (NGRDI, GLI e VARI) e o índice de área foliar, possibilitando estabelecer um modelo de IAF ajustado a região do visível.



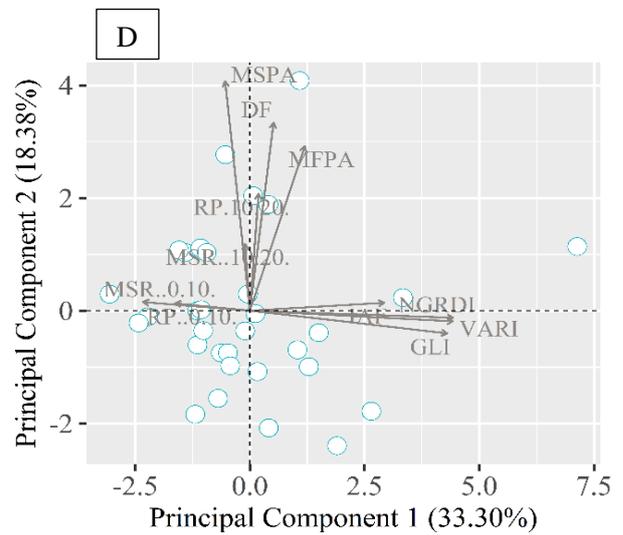
Agosto (Antes da entrada dos animais).



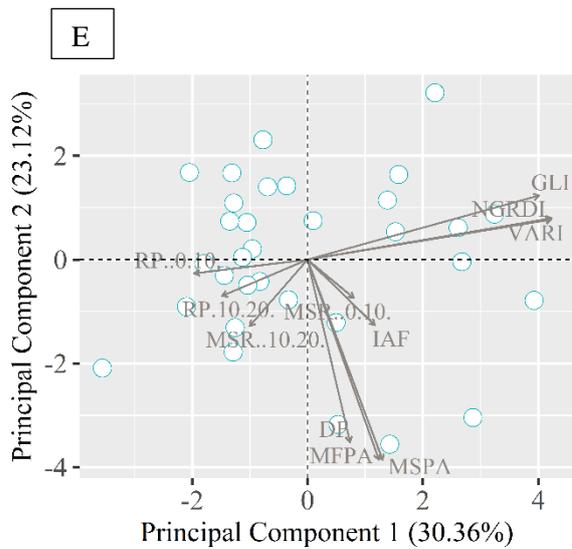
Agosto (Após a saída dos animais)



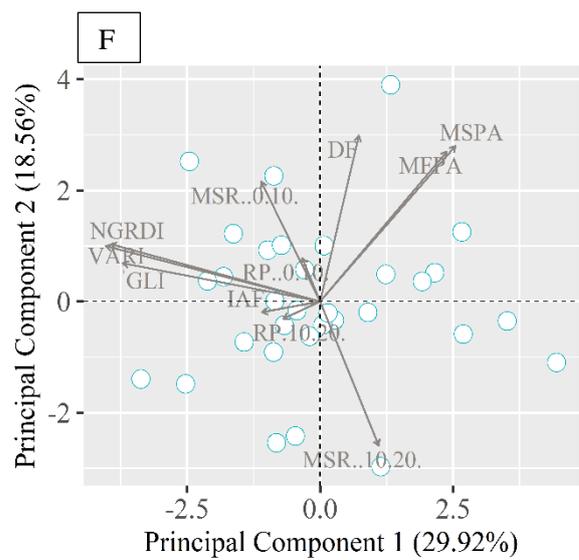
Setembro (Antes da entrada dos animais).



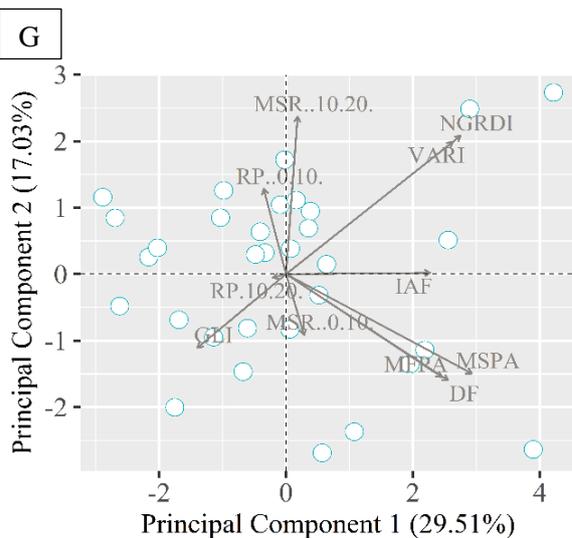
Setembro (Após a saída dos animais)



Outubro (Antes da entrada dos animais).



Outubro (Após a saída dos animais)



Novembro (após o período de descanso do pasto)

Figura 6. Componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2 respectivamente), das variáveis biométricas da pastagem, índice de área foliar (IAF), massa fresca da parte aérea (MFAA), massa seca da parte aérea (MSPA), densidade de forragem (DF), massa seca da raiz (MSR) nas profundidades 0-0,10 e 0,10-0,20 m, resistência do solo a penetração (RP) nas profundidades 0-0,10 e 0,10-0,20 m, e dos índices de vegetação adquiridos pelo espectro do visível, Normalized green red difference index (NGRDI), green leaf index (GLI) e visible atmospherically resistente index (VARI), antes e após a entrada dos animais no piquete, no decorrer do período de monitoramento.

Os gráficos biplot das variáveis MFAA, MSPA e DF, apresentam em todos os meses forte correlação positiva (após a saída dos animais em setembro e outubro) e negativa nas demais passagens do experimento. Bittar (2017) ao analisar *Brachiaria*

encontrou correlação positiva entre as variáveis biomassa fresca e seca na ordem de 0,62. Costa (2016) e Lopes (2014), ao estudar o *Panicum maximum* cv. Massai, também evidenciaram a correlação positiva entre os valores de massa fresca e massa seca.

Também foi observada forte correlação para os índices de vegetação obtidos pelo espectro do visível (NGRDI, GLI e VARI) com o IAF coletada *in loco*. Estudos como de Pinto et al. (2014) relatam a relação direta entre os índices de vegetação com o índice de área foliar.

Com base nas correlações observadas na análise dos componentes principais, foi estabelecido um modelo de regressão linear múltipla, sendo as variáveis preditivas os índices de vegetação na região do visível, ou seja, os índices VARI, GLI e NGRDI e em resposta ao índice de área foliar ajustado para região do visível (IAF ajustado).

A Tabela 7 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão. Verificou-se que o modelo de regressão linear múltipla atendeu aos critérios de estabelecimento da relação funcional, admitindo-se que as variáveis preditivas apresentaram valor-p < 0,05, apesar do valor-p encontrado para o índice NGRDI ser de 0,055, porém, pela importância do índice para o ajuste sobre a interferência de luminosidade, optou-se pela sua manutenção no modelo gerado e verificar sua representação diante da realidade em campo.

Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão.

Análise de Variância					
Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	3,000	88,015	29,339	183,890	0,000
NGRDI	1,000	0,593	0,593	3,720	0,055
GLI	1,000	3,256	3,256	20,410	0,000
VARI	1,000	2,500	2,500	15,670	0,000
Erro	219,000	34,941	0,160		
Total	222,000	122,956			

A equação gerada apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,716, o que viabilizou seu emprego na determinação do índice de área foliar ajustado (Eq. 8).

$$IAF = 1,2402 - 6,07 * NGRDI + 2,601 * GLI + 9,10 * VARI \quad (8)$$

A equação 8 foi aplicada na imagem obtida no campo para verificação do índice de área foliar que gerou os produtos apresentados na Figura 7.

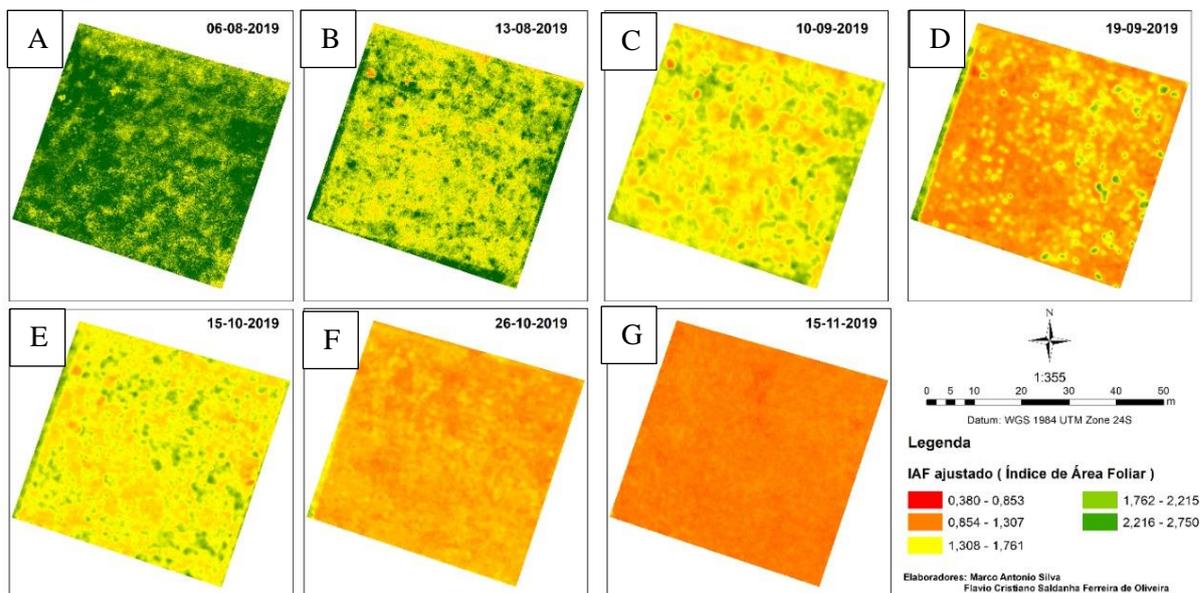


Figura 7. Equação de ajuste para o índice de área foliar (IAF) ajustado para a região do visível (RGB); IAF ajustado antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), IAF ajustado após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (B), IAF ajustado antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (C), IAF ajustado após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (D), IAF ajustado antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (E), IAF ajustado após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (F), IAF ajustado após o período de descanso do pasto (15/11/19) (G).

As imagens correspondentes aos meses de estudo obtiveram valores máximos e mínimos na ordem de 2,750 e 0,380, respectivamente. Esses valores apresentaram coerência ao IAF obtido no campo, onde houveram valores de máximo e mínimo na ordem de 3,600 e 0,600, também foi possível verificar conformidade na distribuição dos valores referente a cada ponto de coleta.

A variação do IAF antes da entrada dos animais e após a saída dos animais do piquete, nos valores de 3,600 e 0,600, se aproximaram dos encontrados por Pedreira

animais (Figura 9 A), foram obtidos valores médios entre 0,131 e 0,006. Nos dias compreendidos entre 13/08, após a entrada de animais (Figura 9 B) a 15/10, antes da entrada dos animais (Figura 9 E), os valores de pixels predominantes foram entre 0,068 e -0,057, porém, ocorreu o aumento gradual no número médio de pixels no intervalo entre 0,005 e -0,057 durante esse intervalo, este comportamento está relacionado ao consumo do pasto pelos animais, uniformizando a área, e a baixa pluviosidade. No dia 15/10, antes da entrada dos animais (Figura 9 E) verificou-se leve recuperação na área de pasto, sendo esta recuperação associada a uma breve precipitação pluviométrica de aproximadamente 6,7 mm aumentando o número de pixels na faixa de 0,068 a 0,006; para o dia 26/10, após a saída dos animais (Figura 9 F), nota-se total padronização nos valores de 0,005 a -0,057 e no dia 15/11, após o período de descanso do pasto (Figura 9 G), os pixels compreendem a faixa entre -0,182 e -0,056.

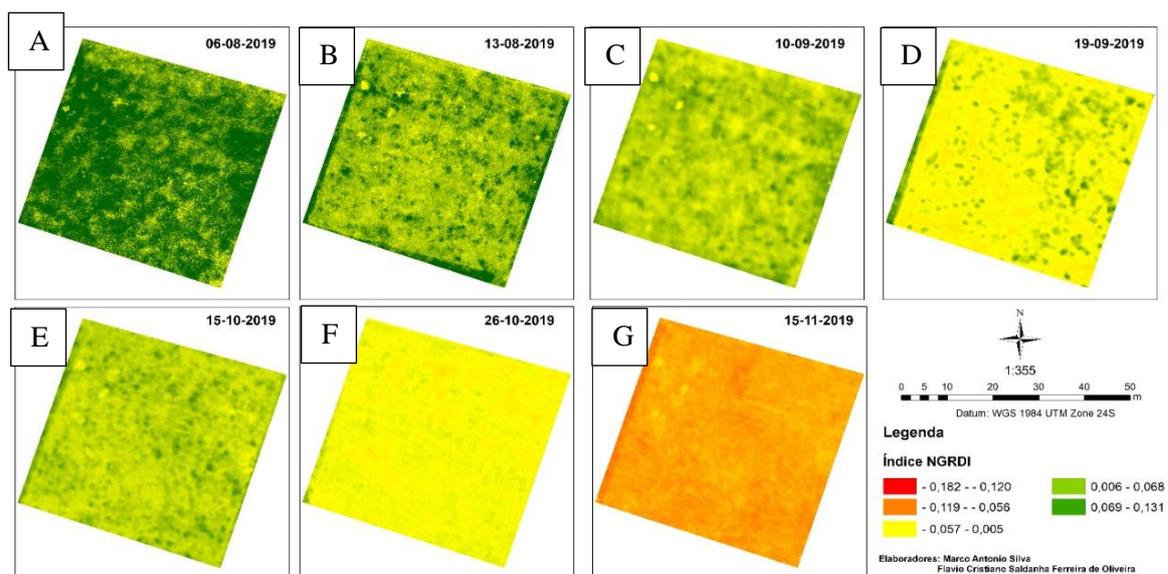


Figura 9. Distribuição espaço temporal do Normalized green red difference index (NGRDI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019; NGRDI antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), NGRDI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (B), NGRDI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (C), NGRDI após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (D), NGRDI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (E), NGRDI após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (F), NGRDI após o período de descanso do pasto (15/11/19) (G).

Este índice foi idealizado por Tucker (1979) relacionando as bandas do verde e do vermelho. De acordo com Liu e Wang (2018) o NGRDI é usado para eliminar a

diferença na condição de iluminação em toda a cena, porém, as condições de iluminação da área de estudo mostraram-se uniformes, e o comportamento do NGRDI foi semelhante aos demais índices na região do visível aqui aplicados.

Hunt et al. (2005) obtiveram uma alta correlação entre o índice NGRDI e o nível de biomassa verde, da mesma forma, por ser um índice de vegetação e com isso associar altos valores de NGRDI com intensidade da vegetação verde, os valores de MFPA e NGRDI obtiveram comportamentos semelhantes, possibilitando a verificação da disponibilidade de forragem na área de pasto durante os períodos de estudo.

GLI

Os valores de GLI (Figura 10) máximos e mínimos encontrados variaram de 0,223 a -0,111, sendo que no dia 06/08, antes da entrada dos animais (Figura 10 A), foram obtidos valores médios entre 0,223 e 0,157, no dia 13/08, após a saída dos animais (Figura 10 B), os pixels médios ficaram entre 0,156 e 0,023. Em setembro, no dia 10, antes da entrada dos animais (Figura 10 C), o intervalo foi de 0,156 e 0,023, portanto, próximo da faixa de 0,089 a 0,023; no dia 19, após a saída dos animais (Figura 10 D), verificou-se variação de 0,022 a -0,045.

No dia 15/10, antes da entrada dos animais (Figura 10 E), ocorreu reestabelecimento da vegetação, caracterizado por valores médios entre 0,156 a 0,023, com predominância na faixa entre 0,089 e 0,023, no dia 26/10, após a saída dos animais (Figura 10 F), houve um decréscimo do índice GLI apresentando valores entre 0,089 e -0,045, com predominância de valores na faixa entre 0,022 e -0,045, e no dia 15/11, após o período de descanso do pasto (Figura 10 G), a faixa representativa de pixels foi de 0,089 a 0,023, o que mostra a possível influência do solo exposto nos resultados obtidos.

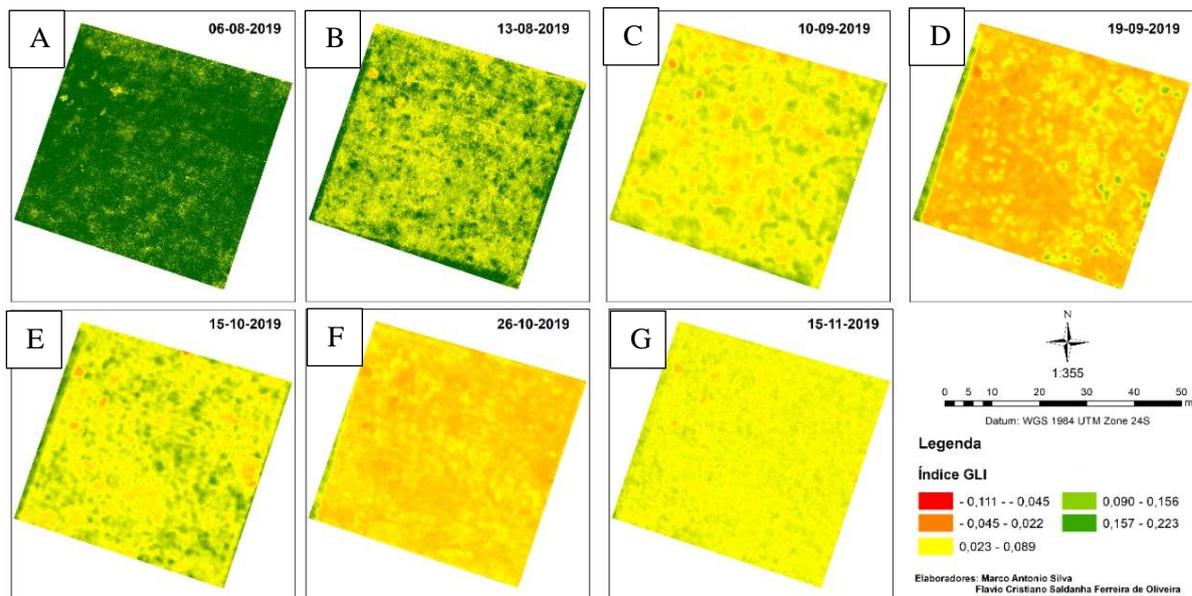


Figura 10. Distribuição espaço temporal do Green Leaf Index (GLI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019; GLI antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), GLI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (B), GLI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (C), GLI após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (D), GLI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (E), GLI após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (F), GLI após o período de descanso do pasto (15/11/19) (G).

Louhaichi et al. (2001) desenvolveram o Green Leaf Index (GLI) para avaliar o impacto do pastoreio em cultivos de trigo de inverno, baseado nas relações entre as bandas do vermelho, verde e azul, de forma a descrever a variação da área foliar da vegetação que estava sendo monitorada. O mesmo trabalho mostra que os resultados obtidos foram satisfatórios para identificar com precisão os níveis de impacto gerados pelos animais na vegetação. Assim como Louhaichi et al. (2001), o presente estudo obteve informações do comportamento espaço-temporal semelhantes a distribuição da MFPA encontrado na área de pasto, onde a MFPA apresentaram valores máximos e mínimos de 0,248 g e 0,084 g, respectivamente.

Ballesteros et al. (2018) investigou biomassa em milho por meio de alguns índices de vegetação na faixa do visível, dentre eles o GLI, o autor encontrou dificuldades na calibração radiométrica e indicou o uso combinado de preditores agroclimáticos para obtenção de melhores resultados. O presente estudo limitou-se a associar o índice GLI e informações pluviométricas para justificar o comportamento do pasto no período de estudo. Diferindo de Ballesteros et al. (2018), não houve a aplicação de predições do comportamento vegetativo da área.

VARI

Os valores de VARI (Figura 11) máximos e mínimos encontrados variaram entre 0,200 e -0,207, onde na imagem referente ao dia 06/08, antes da entrada dos animais (Figura 11 A), foram obtidos valores médios entre 0,200 e 0,119, para o dia 13/08, após a saída dos animais (Figura 11 B), os pixels médios ficaram entre 0,118 e 0,045. No dia 10/09, antes da entrada dos animais (Figura 11 C) o intervalo foi de 0,118 a 0,038, com predominância na faixa entre 0,045 e 0,037, no dia 19/09, após a saída dos animais (Figura 11 D), os intervalos variaram entre 0,045 e -0,126, com predominância entre -0,044 a -0,126. No dia 15/10, antes da entrada dos animais (Figura 11 E), os valores foram entre 0,118 e -0,045 predominando a faixa entre -0,045 a -0,037. Nos dias 26/10, após a entrada dos animais (figura 11 F) e 15/11, após o período de descanso do pasto (Figura 11 G), houve uma padronização da área, onde os valores ficaram próximos da uniformidade, com isso no dia 26/10 (Figura 11 F) os valores ficaram entre -0,045 e -0,037 e no dia 15/11 (Figura 11 G) os valores ficaram entre -0,044 e -0,0126 (Figura 11).

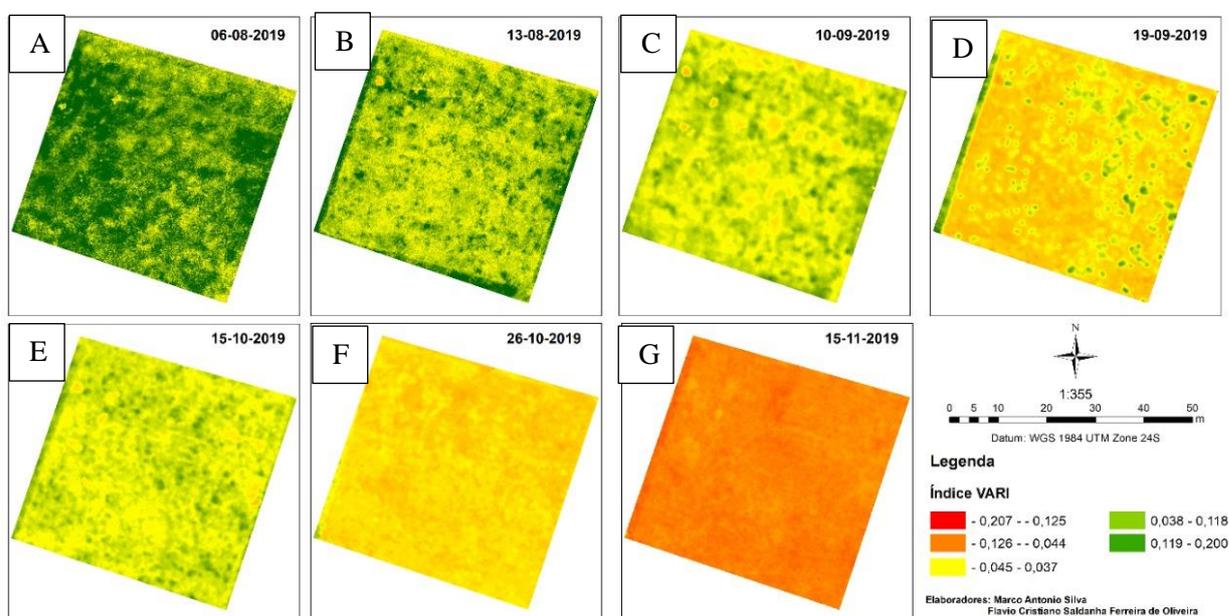


Figura 11. Distribuição espaço temporal do Visible atmospherically resistant index (VARI) nos períodos de 06/08 a 15/11/2019; VARI antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), VARI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (B), VARI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (C), VARI após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (D), VARI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (E),

VARI após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (F), VARI após o período de descanso do pasto (15/11/19) (G).

Fang et al. (2016), afirmou que o uso do VARI está relacionado com as variações fenológicas presentes no ciclo de desenvolvimento, diante disso, Abrahão et al. (2009), utilizaram o índice VARI na avaliação de doses de nitrogênio em capim-tanzânia, e este, mostrou-se eficaz, apresentando uma boa correlação com as leituras de clorofila e de massa seca, esse mesmo comportamento foi verificado no presente estudo por meio das correlações entre as variáveis MFPA, com valores entre 0,248 g e 0,084 g e de altura de dossel, valores máximos 0,60 m e mínimos de 0,11 m, coletadas *in loco*, apresentaram distribuição espacial e valores compatíveis com o observado no local de estudo.

Gitelson et al. (2002) baseando-se em outros índices, propuseram o Visible Atmosphericly Resistant Index (VARI), a proposta era a utilização de uma equação, em que utilizando a faixa no visível seria necessária correção atmosférica para que fosse possível fornecer melhor produto final. Diante do exposto, verificou-se no presente estudo que houve distinção das áreas com maior densidade vegetativa das áreas em algum nível de degradação, mesmo no período mais seco.

Os valores apresentados pelos índices de vegetação no visível apresentaram comportamento parecidos entre eles, o índice que obteve um intervalo mais extenso entre seus valores máximo e mínimo foi o VARI, isto está relacionado ao nível de detalhamento de informações captadas entre as relações do verde e vermelho e a correção realizada com a subtração da banda azul.

O período seco influenciou os resultados obtidos pelo índice VARI e NGRDI, onde foi possível verificar na Figura 11 G valores negativos, apesar de um pequeno reestabelecimento da vegetação, este fato está inteiramente relacionado com o nível de vigor do pasto e a carência das equações quanto a fatores de correção para o solo, como ocorre com o índice de vegetação na região do infravermelho próximo (a exemplo do SAVI), os índices GLI e VARI discriminaram melhor solo exposto, diante de todos os índices estudados o índice que demonstrou melhor a realidade em campo foi o índice VARI, porém, há ressalva em seu uso no período seco. Em condições de baixa disponibilidade de precipitação o índice GLI pode apresentar melhores respostas devido a inserção de correção provenientes no espectro da banda azul.

Monitoramento da atividade dos animais

Foram armazenados 8941 registros no monitoramento distribuídos por todo o período experimental, a Figura 12 mostra a intensidade dos agrupamentos dos pontos, por meio da aplicação da função de Kernel, para estimar a intensidade ou densidade dos eventos em cada ponto da área analisada. Nesta representação, uma escala graduada colorida indica a intensidade em cada ponto, os clusters de cor vermelha são provocados pelo descanso dos animais, que podem permanecer imóveis durante maiores períodos de tempo (ruminação ou ócio).

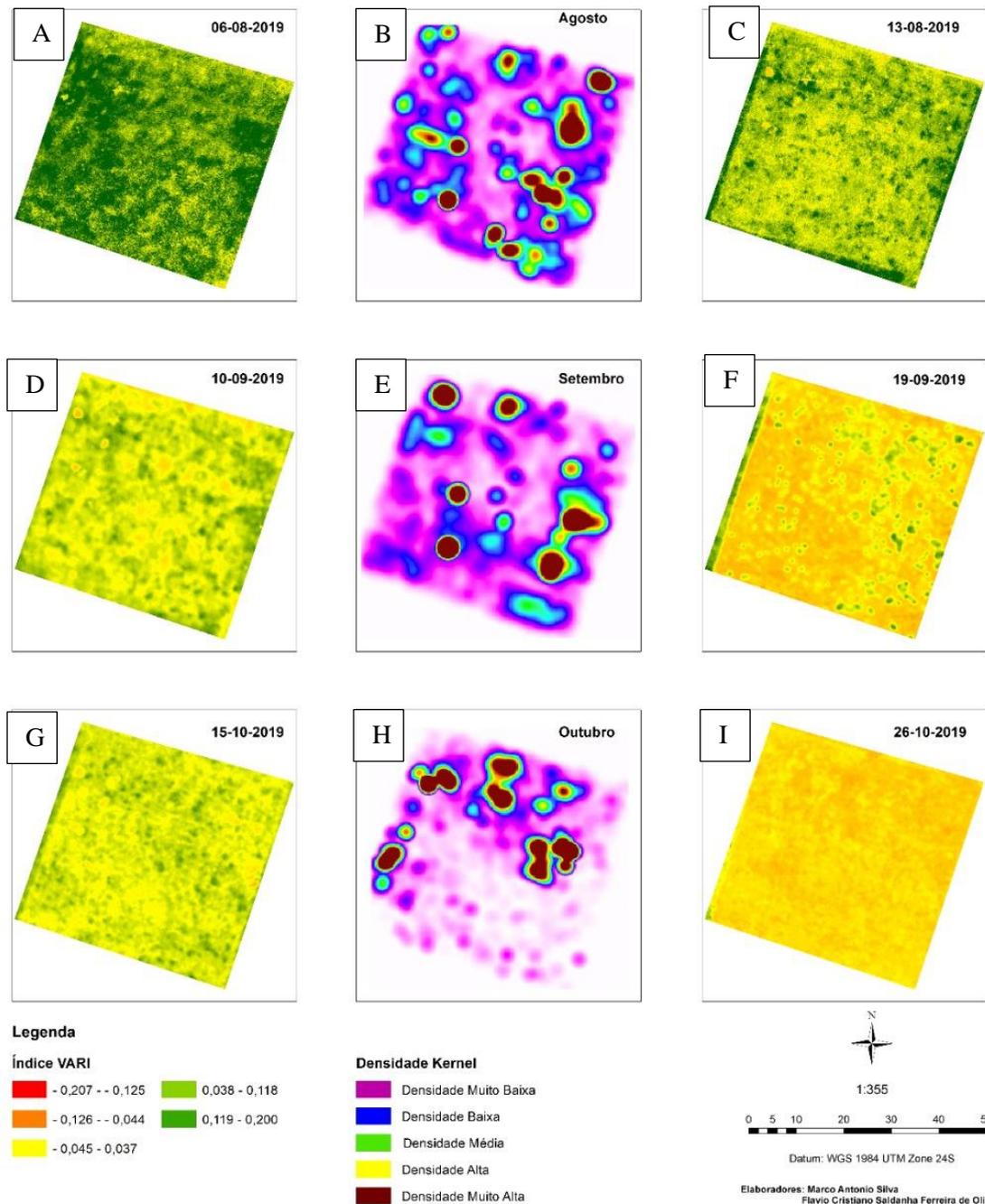


Figura 12. Relação da distribuição espaço temporal do índice VARI e da densidade de Kernel gerada a partir do GPS acoplado nos animais nos períodos de 06/08 a 26/10/2019; VARI antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), Mapa de densidade de Kernel do mês de agosto (B), VARI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (C), VARI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (D), Mapa de densidade de Kernel do mês de setembro (E), VARI após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (F), VARI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (G), Mapa de densidade de Kernel do mês de outubro(H), VARI após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (I).

Há uma diferença expressiva na intensidade de pastejo de determinadas zonas, a classificação visual das áreas quanto a vegetação também apresentou variabilidade, verifica-se que as áreas com maior intensidade de pastejo coincidem com as áreas de maior disponibilidade de vegetação e a menor com a de menor vegetação. Neves et al. (2015), tendo em vista que, atualmente o ajuste da taxa de lotação de animais é feito com base na média da massa de forragem disponível em toda a área útil da pastagem, pode haver distorções no controle da intensidade da desfolha e do pisoteio em determinadas zonas. Esta situação ao longo do tempo, pode comprometer a conservação do solo e também reforçar a rejeição dos animais por determinadas zonas da pastagem, devido ao engrossamento da vegetação.

Handcock et al. (2009), relacionaram as informações de biomassa da forragem provenientes do NDVI e o posicionamento dos animais (bovinos) durante o pastejo e, por meio desses dados, foi possível indicar a área de escolha dos animais, os quais buscaram primeiramente áreas que possuíam a forragem mais alta. Kawamura et al. (2005) avaliou a intensidade de pastejo de ovelhas e cabras associando dados orbitais com informações de GPS. Seguindo o que foi proposto pelos autores, porém com a utilização de VANT e sensor RGB, no presente estudo foi possível relacionar visualmente as informações geradas pelo mapa oriundo do índice VARI e o mapa gerado pela densidade de Kernel.

Assim como Piovezan (2017), que utilizou o recurso de GPS para avaliar espacialmente o comportamento de bovinos em manejo extensivo, mantidos em pastagem nativa, os resultados obtidos neste trabalho, possibilitaram espacializar os animais em área de pastagem sob pastejo rotacionado.

Outros autores indicaram métodos e avaliações mais rebuscadas, a fim de possuir maiores informações quanto a interação dos animais ao pasto. A exemplo de algumas técnicas há a descrita por González et al. (2014) onde foi aplicado uma metodologia não supervisionada para o tratamento de dados de alta resolução espacial e temporal para análise de bovinos.

Godsk e Kjaergaard (2011) não só avaliaram o posicionamento dos animais ao pasto como também indicaram o comportamento dos animais no pasto, ressaltando a possibilidade de outras aplicações com receptores de GPS combinados com outros

sensores. Essa metodologia proporciona automatizar métodos já existentes, possibilitando maiores volumes de informações.

Grau de degradação da pastagem

A fim de investigar os possíveis estágios de degradação da pastagem no decorrer da pesquisa, foram realizadas adaptações sobre o método recomendado por GAO et al. (2006) para estimar o índice fração de cobertura vegetal (FCV), aplicando-se o índice de vegetação VARI e a normalização dos dados, por meio da retirada de *outliers*, com isso, os valores máximo e mínimo do VARI ficaram entre 0,2 e -0,207, respectivamente. Após a aplicação da equação (6) foram encontrados valores de fração de cobertura vegetal (FCV) de antes e após a entrada dos animais entre agosto e novembro, onde os valores médios de porcentagem de vegetação na área foram de 90% e 69% no mês de agosto, 58% e 19%, no mês setembro, 32% e 30%, no mês de outubro e de 31% no mês de novembro.

Ao encontrar os valores de FCV foi realizado a classificação do índice CVP na malha de pontos distribuídos na área de pasto (Tabela 2), esse procedimento foi realizado para todos os meses antes e após a entrada dos animais, gerando os valores da Tabela 8.

O índice CVP foi obtido em todos os pontos distribuídos pela área (total de 32 pontos), com isso, foi possível verificar em cada imagem os estágios de degradação distribuído na área. A imagem no início do experimento relatou pontos não degradados (22), pouco degradados (9) e moderadamente degradados (1), os valores de CVP oriundos de alguns pontos encontraram-se no limiar da próxima classe, não sendo perceptível nas classes demonstradas.

Tabela 8. Classificação e quantificação dos pontos distribuídos no piquete de acordo com o índice Cobertura Vegetal da Pastagem (CVP).

<i>Classificação/D</i>	<i>06/08</i>	<i>13/08</i>	<i>10/09</i>	<i>19/09</i>	<i>15/10</i>	<i>26/10</i>	<i>15/11</i>
<i>Não Degradado (ND)</i>	22	0	0	0	0	0	0
<i>Pouco Degradado (PD)</i>	9	7	1	0	1	0	12
<i>Moderadamente Degradado (MoD)</i>	1	10	3	0	9	0	7
<i>Muito Degradado (MuD)</i>	0	9	20	8	19	14	8
<i>Extremamente Degradado (SD)</i>	0	6	8	24	3	18	5

*Nota: antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19), após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19), antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19), após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19), antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19), após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19), após o período de descanso do pasto (15/11/19).

Com base no CVP, foram calculados o índice de degradação de pastagem (IDP), resultando na Tabela 10. O índice CVP tem como funcionalidade atribuir valores ao grau de degradação na área por meio de pesos de acordo com o estágio de degradação e o número de pontos nesse grau (Tabela 9).

Tabela 9. Classificação dos pontos distribuídos no piquete de acordo com o índice Cobertura Vegetal da Pastagem (CVP).

<i>IDP</i>	06/08	13/08	10/09	19/09	15/10	26/10	15/11
ND (1)	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PD (2)	2,00	0,44	0,03	0,00	0,02	0,00	2,00
MoD (3)	0,04	0,99	0,22	0,00	1,00	0,00	2,00
MuD (4)	0,00	1,13	2,61	1,00	2,50	2,29	2,92
ED (5)	0,00	0,13	1,29	3,69	0,17	3,01	2,00

*Nota: antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19), após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19), antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19), após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19), antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19), após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19), após o período de descanso do pasto (15/11/19).

Para classificação quanto aos padrões da determinação e categoria de correspondência da degradação, foi utilizado a Tabela 3, onde a vegetação foi analisada de forma a distinguir os padrões de distribuição espaço-temporal da área de estudo. Assim sendo, de acordo com os dados apresentados na tabela 3, houve uma generalização dos pontos sobre toda a área sendo os vizinhos próximos de cada ponto integrados pelo método da máxima verossimilhança concluindo o índice IDP.

Após a aplicação dos critérios do índice IDP gerou-se como produto a Figura 13, onde é possível analisar os estágios de degradação da pastagem por meio das imagens geradas com índice de vegetação no espectro do visível.

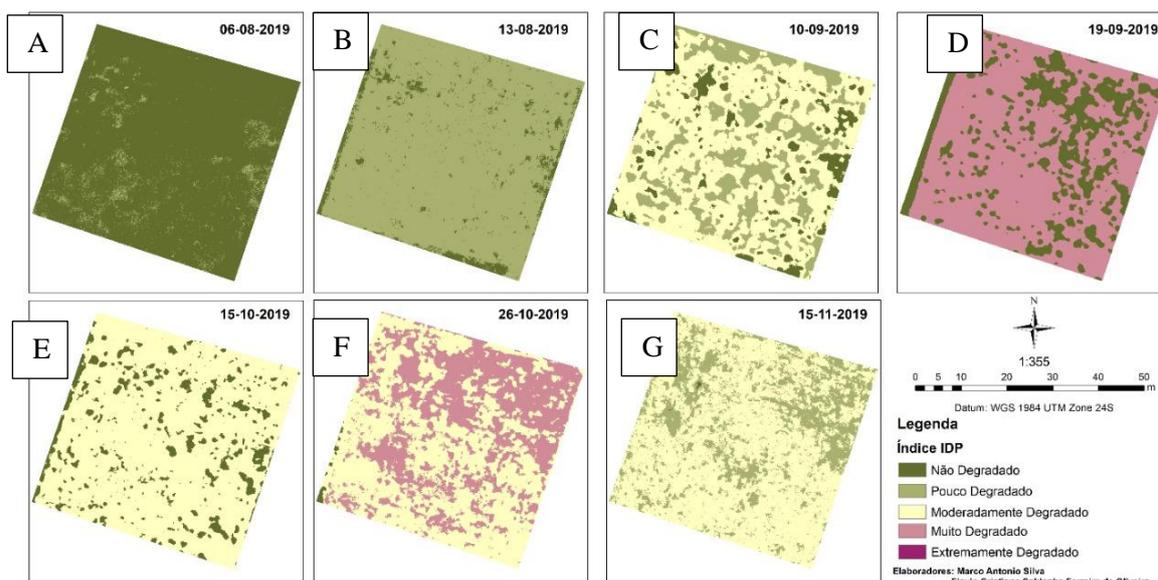


Figura 13. Análise espaço temporal do índice de degradação da pastagem (IDP) nos limites da área experimental; IDP antes da entrada dos animais na 1ª passagem (06/08/19)(A), IDP após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (B), IDP antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (C), IDP após a saída dos animais na 2ª passagem (19/09/19) (D), IDP antes da entrada dos animais na 3ª passagem (15/10/19) (E), IDP após a saída dos animais na 3ª passagem (26/10/19) (F), IDP após o período de descanso do pasto (15/11/19) (G).

Os resultados apresentaram gradual degradação da pastagem nas passagens entre a 1ª passagem (Figuras 13 A e B) e 2ª passagem (Figuras 13 C e D), onde este último apresentou cerca de 97% de decréscimo da vegetação em comparação a condição inicial do pasto, no mês de outubro ocorreu recuperação de aproximadamente 4% em comparação ao mês anterior, esta recuperação pode ter sido influenciada pela pluviosidade de 16,60 mm distribuído no período entre 16 de setembro a 25 de setembro; no dia 26 de outubro, após a saída dos animais, houve degradação de aproximadamente 14% e após o período de descanso do pasto, ou seja 28 dias, coletou-se a imagem referente a 15 de novembro onde é possível verificar recuperação de 1,2%.

Andrade (2013), utilizou a metodologia descrita por GAO (2006) para analisar o processo de degradação de pastagens em três microbacias localizadas no município de Guararapes-SP utilizando imagens orbitais provenientes do satélite Landsat 5 -TM e obteve como resultado, valores coerentes com o encontrado in loco, porém, a classificação mascarou a qualidade da pastagem, pois no local foram encontradas muitas plantas invasoras. Assim como Andrade (2013), foi possível verificar

visualmente o comportamento do pasto quanto ao nível de degradação do mesmo, porém como a área difere em metragem ao do autor supracitado, não seria viável a utilização do satélite Landsat 5-TM devido a sua resolução espacial.

Ao comparar a adaptação da metodologia indicada por Gao (2006) utilizando-se sensor RGB e com isso, o índice VARI e a utilizada por Almeida et al. (2019) aplicando análise de mistura espectral (AME) para obtenção dos valores de NDVI e SAVI, verificou-se que as tecnologias as serem aplicadas dependem principalmente da resolução espacial e temporal para que haja uma eficiente distinção quanto aos níveis de degradação classificados.

Resultados similares foram encontrados por Ballerini e Massoli Junior (2019), os quais utilizaram diferentes sensores, oriundos dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 L2A, como também com VANT embarcado com câmera RGB, obtendo melhores resultado com o VANT embarcado de câmera RGB, e com isso, destacando a importância da resolução espacial para o maior e melhor detalhamento do comportamento da pastagem.

Índices de vegetação com informações orbitais (imagens de satélite)

A partir das imagens obtidas pelo satélite Sentinel 2 (Figura 14) foram gerados os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF.

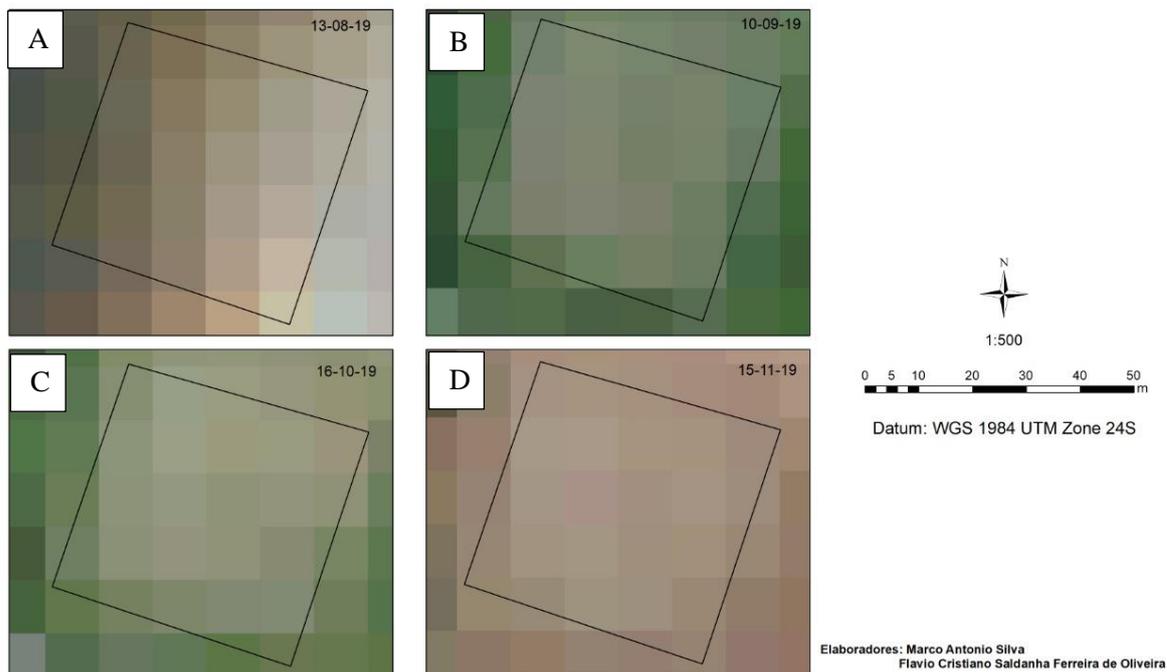


Figura 14. Imagens composição cor verdadeira nas datas 13/08 a 15/11/2019; composição cor verdadeira após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (A), composição cor verdadeira antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (B), composição cor verdadeira antes da entrada dos animais na 3ª passagem (16/10/19) (C), composição cor verdadeira após o período de descanso do pasto (15/11/19) (D).

NDVI

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) retrata a diferença normalizada entre a reflectância do infravermelho próximo e do vermelho, o produto gerado são valores com variação entre 1 e -1, onde os valores mais próximos de 1 indicam maior vigor da planta, maior quantidade de clorofila e valor 0 ou negativos indicam solos expostos e vegetação seca ou com pouca vegetação (Rouse et al., 1973; Rosendo, 2005).

Os valores encontrados de NDVI (Figura 15) apresentaram comportamento normal dentro da faixa de variação indicada por Rouse et al., (1973), os valores variaram entre 0,795 e -0,072, onde em 13/08, após a saída dos animais (Figura 15 A), os pixels predominantes indicaram o intervalo entre -0,102 a 0,274. No dia 10/09, antes da entrada dos animais (Figura 15 B), apresentam uma recuperação sobre a vegetação já que os valores médios indicam que neste período a área, ficaram entre os intervalos de 0,448 e 0,620. Os valores médios da área no dia 16/10, antes da entrada dos animais (Figura 15 C), demonstram valores entre duas faixas que são de

0,275 a 0,447 e 0,448 a 0,620 e por fim no dia 15/11, após período de descanso do pasto (Figura 15 D), a faixa correspondente aos pixels médios ficaram entre 0,275 a 0,448.

Os valores das variáveis MFPA, com valores entre 0,248 g e 0,084 g e de altura de dossel, valores máximos 0,60 m e mínimos de 0,11 m, coletadas *in loco*, apresentaram distribuição espacial e valores compatíveis com o observado no local de estudo.

Os períodos de agosto e setembro correspondem a transição da estação mais úmida para estação mais seca, logo, nesses períodos houveram no geral um acumulado pluviométrico de 169,1 mm o que pode explicar a vegetação mais densa, resultado da boa disponibilidade hídrica no perfil do solo, proporcionando melhores condições de resiliência do pasto.

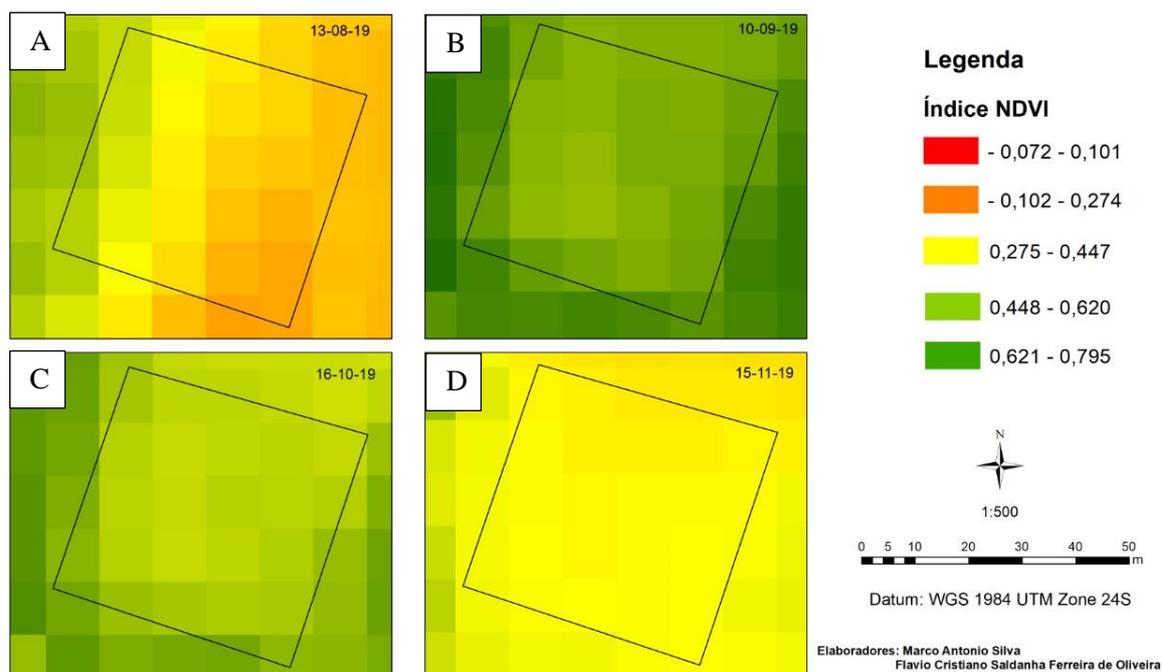


Figura 15. Distribuição espaço temporal do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) nos períodos de 13/08 a 15/11/2019; NDVI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (A), NDVI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (B), NDVI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (16/10/19) (C), NDVI após o período de descanso do pasto (15/11/19) (D).

Apesar dos valores não corresponderem, Santos et al. (2019), no estado de Goiás, apresentou valores de NDVI entre 0,6 a 0,3, onde o maior valor foi obtido no

período chuvoso e o menor no período seco, comportamento semelhante ao encontrado no presente trabalho, onde os maiores valores estão relacionados ao vigor da pastagem, enfatizando a importância das variáveis ambientais no desenvolvimento da vegetação.

SAVI

Este índice é comumente utilizado para corrigir o índice NDVI, para a influência do brilho do solo em áreas onde a cobertura vegetativa é muito baixa (HUETE, 1988). O índice SAVI objetiva auxiliar na diferenciação da pastagem seca e do solo exposto, fornecendo informações mais detalhadas para geração do IAF.

Os valores encontrados no SAVI (Figura 16) apresentaram comportamento diferentes das imagens geradas pelo NDVI, a correção aplicada no índice SAVI mascarou o comportamento da pastagem durante os meses em estudo. As imagens apresentaram os maiores e menores valores de SAVI nos intervalos de 0,689 e -0,107, respectivamente. Na imagem do dia 13/08 referente a saída dos animais na 1ª passagem (Figura 16 A), os valores variaram entre 0,211 a 0,529. Nos dias 10/09, antes da entrada dos animais na 2ª passagem (Figura 16 B), e no dia 16/10, antes da entrada dos animais na 3ª passagem (Figura 16 C), os valores médios foram de 0,530 a 0,689 e no dia 15/11, após o período de descanso do pasto (Figura 16 D), o intervalo foi entre 0,371 e 0,689. Esses valores não corresponderam com a distribuição dos valores de MSPA, com valores máximos de 0,164 g e mínimos de 0,047 g, MFPA, com valores entre 0,248 g e 0,084 g e de altura de dossel, valores máximos 0,60 m e mínimos de 0,11 m coletadas *in loco*, apresentando ressalvas para seu uso. Outro ponto a ser considerado é a possível influência de nuvens no local sobre os valores obtidos.

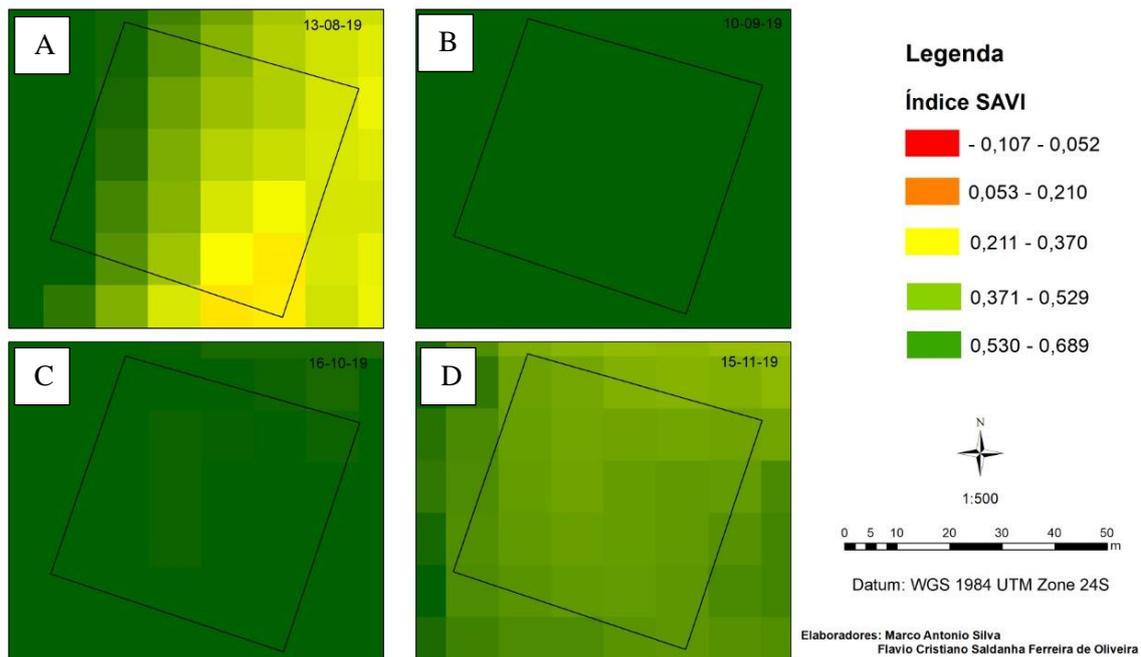


Figura 16. Distribuição espaço temporal do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) nos períodos de 13/08 a 15/11/2019; SAVI após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (A), SAVI antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (B), SAVI antes da entrada dos animais na 3ª passagem (16/10/19) (C), SAVI após o período de descanso do pasto (15/11/19) (D).

Batista et al. (2020) analisou degradação de pastagem (*Brachiaria decumbens*) por meio do índice SAVI, onde o mesmo encontrou valores na faixa de 0,460 a 0,270 antes do pastejo dos animais e valores entre 0,220 e 0,130 após o pastejo dos animais. Os valores encontrados no presente estudo, diferem dos obtidos por Batista et al. (2020), onde os valores antes da entrada dos animais ficaram numa faixa média na ordem 0,530 e 0,689 e após a saída dos animais na ordem de 0,211 e 0,370.

IAF

O índice de área foliar (IAF) é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, ou seja, este índice é definido como a razão entre a área foliar de toda vegetação por unidade de área utilizada.

O IAF é um subproduto do NDVI e do SAVI, sendo assim, para que seja possível aplicar a equação do IAF faz-se necessário a utilização dos valores encontrados pelo índice SAVI.

Os valores de IAF (Figura 17) encontrados variaram entre 0,00 e 3,00, onde o dia 13/08 apresentou variação na área entre 0,00 e 3,00, no dia 10/09 (Figura 17 B)

houve uma generalização dos valores onde a faixa obtida ficou entre 2,10 e 3,00, no dia 16/10 (Figura 17 C) houve uma variação entre 1,10 e 3,00 e por fim, no dia 15/11 os valores foram entre 0,60 e 1,50.

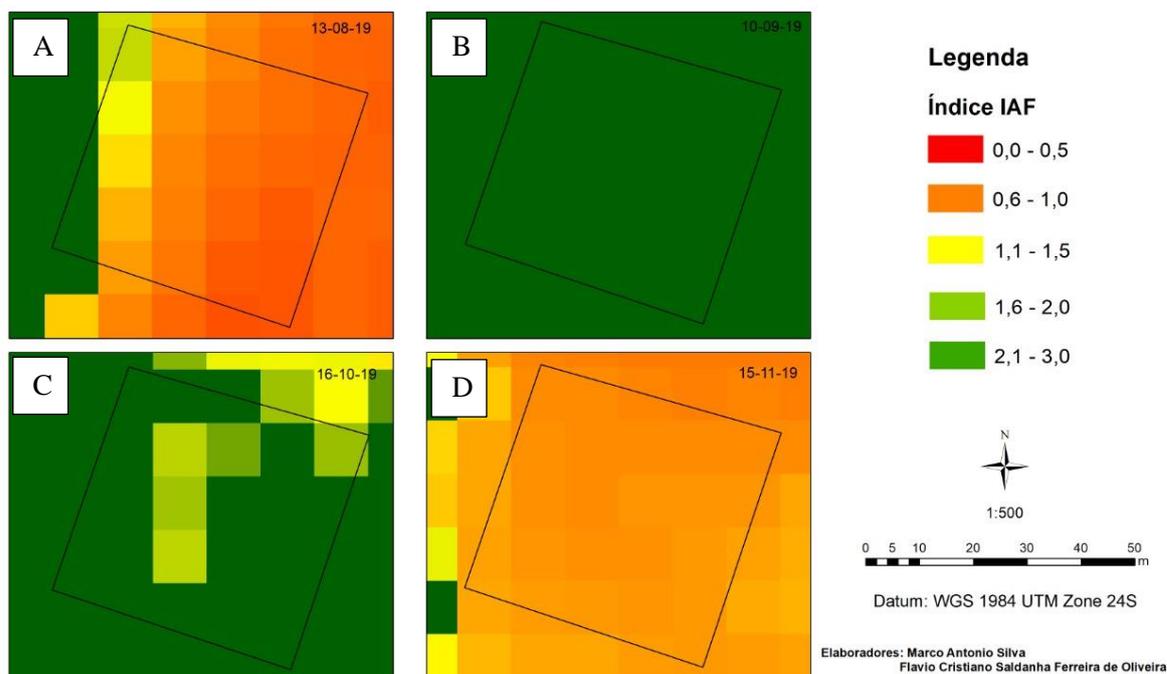


Figura 17. Distribuição espaço temporal do índice de área foliar nos períodos de 13/08 a 15/11/2019; IAF após a saída dos animais na 1ª passagem (13/08/19) (A), IAF antes da entrada dos animais na 2ª passagem (10/09/19) (B), IAF antes da entrada dos animais na 3ª passagem (16/10/19) (C), IAF após o período de descanso do pasto (15/11/19) (D).

A variação/distribuição demonstrado pelo SAVI indica que os valores de pixels ficaram no limiar da classe posterior, porém com a aplicação do IAF, houve um ajuste que possibilitou valores mais condizentes com o comportamento verificado no período de experimento. Por utilizar índice de vegetação para prever valores de IAF as distribuições dos valores de pixels são equivalentes aos encontrados NDVI.

Os valores de IAF provenientes das imagens orbitais, com valores entre 0,00 e 3,00, foram próximos aos encontrados *in loco* com valores entre 0,60 e 3,60. Zanchi et al. 2009 em pastagem *Urochloa brizantha* na região de Rondônia obteve em seu estudo valores médios de IAF na ordem de 2,5 e altura média de dossel de 0,30 m no período mais úmido, esses valores divergem dos encontrados no presente trabalho, onde foram registrados valores de IAF de 1,9 para o pasto que se encontrava com 0,28 m de altura de dossel.

CONCLUSÕES

- A disponibilidade de forragem poderá ser estimada a partir do IAF ajustado na região do visível, onde este utiliza em sua equação índices de vegetação na banda do visível ($IAF = 1,2402 - 6,07 * NGRDI + 2,601 * GLI + 9,10 * VARI$).
- Os mapas de vegetação VARI associado com os mapas de densidade de kernel, possibilitaram avaliar visualmente a distribuição dos animais na área de pastejo e relacioná-lo com a disponibilidade de vegetação.
- As informações oriundas dos índices de vegetação na área do visível e utilizando banda do infravermelho próximo, possibilitaram distinguir a vegetação e com isso avaliar quanto a disponibilidade da pastagem e ao nível de degradação da área de pasto. Dentre os índices, destacou-se o índice VARI com grande potencial para o acompanhamento da pastagem.
- Os índices gerados provenientes das imagens orbitais foram limitados pela resolução espacial e temporal, além de ruídos proveniente de nuvens, porém os valores foram próximos aos encontrados em campo.
- O IDP apresenta-se como um eficiente índice para monitoramento do pasto e o uso de índice de vegetação RGB para sua obtenção mostrou-se promissor.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abrahão, S. A.; Pinto F.A.C; Queiroz, D.M; Santos, N.T; Gleriani, J. M.; Alves, E.A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia, **Revista Brasileira de Zootecnia**, V.38, n.9, p. 1637-1644,2009
- Allen, R. G., Morse, A., Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W., Wright, J. L., & Kramber, W., Evapotranspiration from a satellite-based surface energy balance for the Snake Plain Aquifer in Idaho. In: **Proc. USCID Conference**. USCID, 2002.
- Ballesteros, R., Ortega,J.F., Hernandez, D., Del Campo, A., Moreno, M.A., Uso combinado de informações de sensoriamento remoto agro-climáticas e de alta resolução para monitoramento de safras. **Jornal internacional de observação da terra aplicada e geoinformação**, v. 72, p. 66-75, 2018.
- De Almeida, M. B. F.; Simões, M.; FERRAZ, R. P. D. Aplicação de sensoriamento remoto no estudo dos níveis de degradação de pastagens. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.
- Almeida, M. B. F. de, Simões, M., Ferraz, R. P. D; Tullio, L. (Org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 3. Ponta Grossa: Atena. cap. 2, p. 11-21,2019
- Andersson, K., Trotter, M., Robson, A., Schneider, D., Frizell, L., Saint, A., Lamb, D., Blore, C. Estimating pasture biomass with active optical sensors. **Advances in Animal Biosciences**. V.8, n.2, p. 754– 757, 2017.
<https://doi.org/10.1017/s2040470017000838>
- Andrade, R. G.; Rodrigues, C. A. G.; Sanches, I. D. A.; Torresan, F. E.; Quartaroli, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.21, p.234-243, 2013.
- Araus, J. L.; Kefauver, S. C.; Zaman-Allah, M.; Olsen, M. S.; Cairns, J. E. Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. **Trends in plant science**, v. 23, n. 5, p. 451-466, 2018.
- Azambuja, R. N; Côrrea, C. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de garanhuns-pe: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Geo UERJ**, n. 27, p. 202-233, 2015.
- Barbosa, V. V., Souza, W. M., Galvíncio, J. D., & Costa, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco–Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.2, p.353-367,2016.

Batista, P.H.D., de Almeida, G.L.P., da Silva, J.L.B., Pandorfi, H., da Silva, M.V., da Silva, R.A.B., Cordeiro Junior, J.J.F. Short-term grazing and its impacts on soil and pasture degradation. **Dyna**, v.87, n.213, p.123–128, 2020 <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.81853>.

Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T.R., Vergopoplan, N., Berg, A., Wood, E.F., Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v.5, n.1, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bittar, D.Y., Características morfológicas e acúmulo de biomassa de forrageiras irrigadas em ambiente de domínio do cerrado. **Dissertação de mestrado**, IFGO, 2017

Cirilo, B. E. S.; Medina, E. F.; Jolomba, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, p.66-75, 2017.

Coêlho, D. L. Características estruturais e produtivas de *Brachiaria decumbens* Stapf. Em monocultivo e em sistemas silvipastoris, na Zona da Mata de Pernambuco. **Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco**. 2016.

Costa, J. A. A. e Queiroz, H. P. Régua de Manejo de Pastagens; **comunicado técnico Embrapa**, Campo Grande, MS ,2013.

Costa, N. de L.; Paulino, V. T.; Magalhães, J. A.; Rodrigues, B. H. N.; Santos, F. J. de S. Eficiência do Nitrogênio, Produção de Forragem e Morfogênese do Capim-Massai sob Adubação. *Nucleus*, v.13, n.2, 2016. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1695>.

Cruz, C.D. Regazzi, A.J., Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Ed. UFV, Viçosa-MG, p.390, 1997.

Da Silva, E. D. J., Silva, P. C. C., Amorim, F. F., Brito, R. B. F., Pamponet, B. M., & Rezende, J. O. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo distrófico coeso e crescimento radicular de *Brachiaria decumbens* submetido à subsolagem e fertilização. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.4, p.385-395, 2015.

Da Silva, É. D. S. A., Santos, A. B. S., De Medeiros, L. C. L., Alberto, D., Dos Santos, M. A. L., De Araújo Gomes, M. D., & Gomes, C. Variabilidade espacial da resistência a penetração em solo argiloso sob pastagem degradada/Space variability of penetration resistance in clay soil under degraded pasture. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.11, p. 26570-26577, 2019.

Da Silva, M. V., Pandorfi, H., de Almeida, G.L.P., de Lima, R.P. dos Santos, A., Jardim, A.M.D.R.F., Da Silva, D.C. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators

under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, 2021.

De Moraes, O. P., Silva, J. C., Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Neves, P. D. C. F., Estimação dos parâmetros genéticos da população de arroz irrigado CNA-IRAT 4/0/3. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 421-433, 1997.

Dias-Filho, M. B. Degradação de pastagens: Processos, Causas e Estratégias de Recuperação. 4. ed. Belém: MBDF, p.215, 2011.

Dos Reis, A.A., Silva, B.C., Werner, J.P.S., Silva, Y.F., Rocha, J.V., Figueiredo, G.K.D.A., Magalhães, P.S.G. , "Exploring the Potential of High-Resolution PlanetScope Imagery for Pasture Biomass Estimation in an Integrated Crop-Livestock System", **IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)** , pp. 675-680, 2020 doi: 10.1109 / LAGIRS48042.2020.9165596.

Drumond, L.C.D.; Aguiar, A.P.A. Irrigação de Pastagem. Uberaba: Ed. L.C.D.DRUMOND, 210p., 2005.

Duft, D. G.; Okuno, F.M.; Antoniazzi, F.G.; Fiorio, P.R. Utilização de drones para manejo de pastagens, **XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA 2019**, 2019.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2018.

Easlon, H. M; Bloom, A. J. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. **Applications in plant Sciences**. V. 2, n. 7, 2014.

Edirisinghe, A., Hill, M.J., Donald, G.E., Hyder, M. Quantitative mapping of pasture biomass using satellite imagery. **Internacional Journal Remote Sensing**, v.32, p.2699–2724. 2011. <https://doi.org/10.1080/01431161003743181>

Fang, S., Tang, W., Peng, Y., Gong, Y., Dai, C., Chai, R., & Liu, K., Remote estimation of vegetation fraction and flower fraction in oilseed rape with unmanned aerial vehicle data. **Remote Sensing**, v. 8, n. 5, p. 416, 2016

Fraga, A.B.; Silva, F.L.; Hongyu, K.; Santos, D.D.S.; Murphy, T.W.; Lopes, F.B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein x Zebu cows. *Tropical Animal Health and Production*, v.48, n.3, p.533-538, 2016.

Gao, Q.; Li, Y. E.; Wan, Y.; Lin, E.; Xiong, W.; Jiangcun, W.; Li, W. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. **Journal of Geographical Sciences**, v.16 p.165-173, 2006.

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing Environmental**. V.80, p.76–87, 2002 [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

Godsk, T.; Kjaergaard, M. B. High classification rates for continuous cow activity recognition using low-cost GPS positioning sensors and standard machine learning Techniques. In: **International conference on advances in data mining: applications and theoretical aspects**. n.11, New York. Proceedings... Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. p. 174 -188. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2033796.2033814>>.

González, L. A.; Bishop-Hurley, G. J.; Handcock, R. N.; Crossman, C. Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.110, p. 91-102, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914002798>>.

Handcock, R. N.; Swain, D. L.; Bishop-Hurley, G. J.; Patison, K. P.; Wark, T.; Valencia, P.; Corke, P.; O’neill, C. J. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. **Sensors**, v. 9, n. 5, p. 3586-3603, 2009.

Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., & de Oliveira Junior, G. J., Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015

Huete, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environmental**. v. 25, p.295–309, 1988 [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L., Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v.6, p.359-378.2005

Jannoura, R. Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., Joergensen, R.G. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter, **Biosystems Engineering**, v. 129, p. 341-351, 2015. ISSN:1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.11.007>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511014001998>)

JESUS, L. **Identificação do comportamento bovino por meio do monitoramento animal**. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014.

Kaiser, H.F., The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** v.23, n.3, p. 187–200, 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.

Karnieli, A., Bayarjargal, Y., Bayasgalan, M., Mandakh, B., Dugarjav, C., Burgheimer, J., Gunin, P.D. Do vegetation indices provide a reliable indication of vegetation degradation? A case study in the Mongolian pastures. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 17, p. 6243-6262, 2013.

Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Otsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O., Wang, S.. Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 107, n. 1, p. 83-93, 2005.

Liu, X., & Wang, L., Feasibility of using consumer-grade unmanned aerial vehicles to estimate leaf area index in mangrove forest. **Remote sensing letters**, v. 9, n. 11, p. 1040-1049, 2018.

Lopes, M. N.; Pompeu, R. C. F. F.; Silva, R. G.; Regadas Filho, J. G. L.; Lacerda, C. F.; Bezerra, M. A. Características Morfogênicas de dois tipos de Perfilhos e Produção de Biomassa do Capim-Massai Adubado com Nitrogênio durante o Estabelecimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 666-677, 2014.

Louhaichi, M. Borman, M.M., Johnson, D.E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*. V. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

Macciotta, N. P. P.; Cecchinato, A.; Mele, M.; Bittante, G. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 12, p. 7346-7354, 2012.

Macedo, M.C.M., Kicher, A.N., Zimmer, A.H., Kichel, A.N. de Almeida, R.G., de Araújo, A.R., Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In Embrapa Gado de Corte- **Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, p 158-181, 2013.

Neves, M.C., Perez, N.R., Sisti, R.N, análise exploratória de dados de monitoramento da dinâmica do gado em uma pastagem natural invadida pelo capim-annoni, **Anais XVII Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto-SBSR**, 2015

Otake, V. S. Produtos cartográficos gerados a partir de drones e aplicações na agricultura. 2017. 20 p. **Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia)**. UniCesumar – Centro Universitário de Maringá, 2017.

Paciullo, D. S. C.; Gomide, CA de M. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, p. 167-186, 2016.

Pedreira, C. G. S.; Braga, G. J.; Portela, J. N. Herbage accumulation, plant-part composition and nutritive value on grazed signal grass (*Brachiaria decumbens*) pastures in response to stubble height and rest period based on canopy light interception. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 1, p. 62-73, 2017.

Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., Silva, S.C.D., Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.42, n. 2, p. 281-287, 2007.

Piovezan, U. Dompieri, M. Centurion, S. & Pellegrin, L. Receptores gps para estudo do comportamento espacial de bovinos em pastagens nativas do Pantanal. **Embrapa Pantanal-Documentos (INFOTECA-E)**, 2017.

Pullanagari, R., Kereszturi, G., Yule, I., Integrating airborne hyperspectral, topographic, and soil data for estimating pasture quality using recursive feature elimination with random forest regression. **Remote Sensing** V.10, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10071117>

Punalekar, S.M., Verhoef, A., Quaife, T.L. Humphries, D., Bermingham, L., Reynolds, C.K. Application of Sentinel-2A data for pasture biomass monitoring using a physically based radiative transfer model, **Remote Sensing of Environment**, V 218, p.207-220, 2018.

R Core Team. A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **NASA special publication**, v.351, p.309, 1974.

Rosendo, J. dos S. Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis. 2005. 130 p. **Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território)** - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

Sales Baptista, E.; D'abreu, M. C.; Ferraz Oliveira, M. I. Overgrazing in the Montado? The need for monitoring grazing pressure at paddock scale. **Agroforestry systems**, v.90, p.57-68, 2016.

Serra, L. A. O. O potencial dos UAV para atualização de cartografia municipal. **Dissertação de mestrado**. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2014.

Soil Science Division Staff. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C. 2017.

- Stolf, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.15, p.229-235, 1991.
- Torres, J. L. R.; Junior, D. J. R.; Sene, G. A.; Jaime, D. G.; Silva Vieira, D. M. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, v.28, p.232-239, 2012.
- Tucker, C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environmental**. V.8, p.127–150, 1979. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Vieira, S.R.; Hatfield,J;Nielsen, D.R & Biggar,J. Geostatistical Theory and application to variability of some agronomical properties.Hilgardia, 51(3): 1-75, 1983.
- Wang, J., Xiao, X., Bajgain, R., Starks, P., Steiner, J., Doughty, R.B., Chang, Q. Estimating leaf area index and aboveground biomass of grazing pastures using Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing**.v.154,p.189–201, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.007>
- Wani, M. A.; Shaista, N.; Wani, Z. M. Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Bandipora District of Lesser Himalayas. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.45, p.611-620, 2017.
- Zanchi, F.B., Aguiar, L.J., Von Randow, C., Kruijt, B., Cardoso, F.L., Manzi, A.O., Estimativa do índice de área foliar (IAF) e biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p. 335-347.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A associação de maiores informações de campo com índices gerados por tecnologias remotas (VANT e GPS) proporcionaram ajustes de calibração para realidade local e poderão ser base para futuras análises em outros ambientes.

O uso do VANT embarcado de sensor RGB, mostrou-se promissor, com vantagens quanto a resolução espacial e temporal. O equipamento poderá atender mais satisfatoriamente agropecuários de pequeno e médio porte, devido a acessibilidade do produto e os diversos modelos e valores no mercado.

Problemas referente a pixel “estourado” ao ser utilizado o mosaico de imagens, também foi evidenciado nesse estudo e sanado com a padronização do horário de obtenção das imagens e o uso de imagem única, fornecendo informações válidas e aplicadas por todo o período de experimento.

As imagens do Sentinel-2 por serem obtidas gratuitamente, viabilizam a gestão de pastagem. Apesar de poderem ser utilizadas em menores áreas, recomenda-se o uso de imagens orbitais em área com grandes dimensões, devido a resolução radiométrica desse satélite ser de 10 m, áreas com pequenas dimensões apresentaram poucos pixels para análise e haverá a generalização do pixel/metro.

As imagens adquiridas pelo satélite apresentaram problemas devido a contaminação da imagem por nuvens, esse comportamento se deve a características da região e a sua proximidade com o litoral. A grande incidência de nuvens e a resolução temporal limitaram o número de imagens adquiridas no período do experimento.

Associando os valores encontrados no campo das variáveis biométricas da pastagem e da resistência a penetração do solo com os índices de vegetação (na região do visível), foi possível analisar por meio de componentes principais que o índice de área foliar pode ser calculado pelos índices de vegetação RGB, gerando no presente trabalho o IAF ajustado o qual apresentou valores condizentes aos encontrados no campo. Com isso, esse resultado poderá proporcionar outras formas de estabelecer o IAF de forma mais rápida e menos onerosa.

A partir do uso do sensor RGB foi possível aplicar índices de vegetação que mostram a variação da pastagem, porém, há uma ressalva para a necessidade de pesquisas que possibilitem extrair melhores resultados em período seco, pois, nessa situação foi perceptível uma condição de confusão entre a vegetação seca e o solo.

A técnica de visualização dos dados espaciais fornecidos pelo GPS acoplado aos animais baseado no estimador de densidade de Kernel, bem como sua associação com o índice de vegetação VARI, se mostrou adequado para o tipo de dados obtidos pelo monitoramento. Esta técnica permitiu identificar e avaliar os locais evitados e de maior permanência dos animais.

Sugere-se utilizar esse método em períodos maiores de transição, a fim de associar os fatores meteorológicos, principalmente os dados pluviométricos, a frequência dos locais escolhidos.

A partir da aplicação do índice VARI foi analisado o grau de degradação da área por meio do índice de degradação de Pastagem (IDP), determinando valores para o grau de degradação encontrado na área em cada situação de pastejo, dando suporte ao adequado manejo das pastagens.

O uso da geoestatística para analisar o comportamento das variáveis biométricas do pasto associadas a resistência do solo a penetração, mostrou-se eficaz. Essa metodologia possibilitará ao produtor adequar seu manejo de forma a atender suas necessidades locais.