

DOMINGOS SÁVIO MARQUES DE MENEZES VIEIRA

SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA: CARACTERIZAÇÃO DE
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO VISÍVEL

Serra Talhada-PE

2021

V
I
E
I
R
A

D
S
M
M

S
I
S
T
E
M
A

A
G
R
O
F
L
O
R
E
S
T
A
L

.
. .
2
0
2
2

DOMINGOS SÁVIO MARQUES DE MENEZES VIEIRA

SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA: CARACTERIZAÇÃO DE
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO VISÍVEL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza

Serra Talhada-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)

V658s

Vieira, Domingos Savio
SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA: CARACTERIZAÇÃO DE GRAMÍNEAS
FORRAGEIRAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO VISÍVEL / Domingos Savio Vieira. - 2022.
70 f. : il.

Orientador: Evaristo Jorge Oliveira de Souza.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal
, Serra Talhada, 2022.

1. Morfogênese de gramíneas . 2. Agrossilvicultura . 3. Sensoriamento remoto. I. Souza, Evaristo Jorge Oliveira de,
orient. II. Título

CDD 581.15

DOMINGOS SÁVIO MARQUES DE MENEZES VIEIRA

SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA: CARACTERIZAÇÃO DE
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO VISÍVEL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 31/01/2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza
– UAST/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha – SEDE/UFRPE
Examinador Externo

Prof. Dr. Alan César Bezerra – UAST/UFRPE
Examinador Externo

Aos meus pais, Raimunda Menezes e Antonio Vieira, que são o meu tudo nesta vida terrena e que são uma das minhas razões para vencer todos os desafios e obstáculos.
Amo-vos!!!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro e maior agradecimento é a Deus, pelo dom da vida e por todas as graças e benefícios diários que recebo e que recebi durante este tempo de mestrado. E a nossa Senhora por sua intercessão.

Aos meus pais, Raimunda Nonata e Antonio Vieira por serem os combustíveis da minha vida, por estarem comigo e pelo apoio em todos os momentos.

A minha amada namorada, Fabrícia Vieira, por me apoiar, me amar e dividir comigo todos os momentos.

Aos meus sogros, Maria Osani e Francisco de Assis, por todo carinho e por me apoiarem em todos os momentos.

Aos tios, tias e primos pela torcida, força e apoio Ao meu orientador, Prof. Dr. Evaristo Souza pela doação de parte de sua vida me orientando, me dando forças, me aconselhando e instruindo para o crescimento pessoal e profissional. Sou muito grato pela honra de tê-lo como orientador...muito obrigado!!!

Ao Prof. Dr. Alan Bezerra, Prof. Dr. Márcio Vieira. Prof. Dr. Guilherme, Prof. Dr. Eduardo Souza, Prof. Dr. Thieres George e Prof. Dr. Genival Barros pela parceria, apoio e participação neste estudo.

Aos meus amigos, Baltazar (Baltinha), Nágila (Sandy) e Cléber (Clebinho), fiéis escudeiros dessa minha jornada acadêmica e da vida. Muito obrigado por tudo!!! Sem vocês seria tudo mais complicado.

Aos colegas do grupo de pesquisa, por doarem seus tempos, suas forças e por me apoiarem durante todo o experimento, mesmo diante de uma de pandemia.

Aos colegas e companheiros do PGPV, em especial a Edson Abrantes, Rhaiana e Paulo, por estarem presentes em diversos momentos da minha vida acadêmica.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PGPV, por me oportunizarem esse grande passo na minha vida. À todos que fazem parte dessas instituições, sem nenhuma distinção meu muito obrigado!!!

Aos vigilantes, tratadores de animais do setor de ruminantes da UAST e demais colaboradores da empresa terceirizada, pelo apoio, amizade e rizadas durante este tempo de experimento. Muito obrigado!

A paróquia de Nossa Senhora do Rosário, na pessoa do Pe. Edilberto Sá, pelo apoio, acolhimento e torcida. Levarei esta paróquia no meu coração para sempre.

Aos vizinhos e todos os serra-talhadenses que tive a oportunidade de conhecer e conviver.

“Tudo posso, naquele que me fortalece”.

(Filipenses 4, 13)

RESUMO GERAL

O conhecimento sobre a resposta da planta forrageira ao sistema agroflorestal é um dos requisitos para obtenção de sucesso ao sistema, de modo a torna-lo eficiente e sustentável. Neste sentido, a escolha das espécies é de extrema importância, visto que as forrageiras devem ser produtivas, tolerantes ao sombreamento, adaptadas ao consórcio com culturas agrícolas e adaptadas às condições edafoclimáticas do local de implantação. O sensoriamento remoto é uma ferramenta promissora para estimativa e determinação de diversas características biofísicas e químicas em pastagens, como por exemplo a massa de forragem e índice de área foliar. Diante do exposto, objetivou-se avaliar as características estruturais e morfogênicas do capim buffel e do capim corrente em sistema de agrofloresta no bioma Caatinga, bem como avaliar o desempenho de três índices de vegetação na estimativa da Massa Seca (MS), Massa Natural (MN) e índice de área foliar (IAF). Os tratamentos consistiram em quatro sistemas agroflorestais: 1) capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga; 2) capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga; 3) capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga; 4) capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga. Os três índices de vegetação avaliados foram os índices GLI, NGRDI e VARI. Foram avaliados número de perfilhos, folhas expandidas, folhas em expansão, folhas senescentes, comprimento do pseudocolmo, comprimento da lâmina expandida e em expansão, altura da planta, Índice de Área Foliar (IAF) e as características morfogênicas. Para avaliação do desempenho dos índices de vegetação foi realizado análise de correlação dos índices com as medidas obtidas in situ da MS, MN e IAF. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições e quatro tratamentos, consistindo em quatro parcelas por bloco, totalizando 12 parcelas. Observou-se que os capins buffel e corrente apresentaram respostas diferentes em cada sistema agroflorestal para as características estruturais. Os sistemas agroflorestais não influenciaram nas características morfogênicas. Os índices de vegetação obtiveram resultados bastantes satisfatórios em todos os sistemas agroflorestais. Ambas as plantas forrageiras são recomendadas e indicadas no sistema agroflorestal no bioma Caatinga, integrando as culturas do feijão, milho e algodão e os índices são indicados para estimativa de biomassa e parâmetros vegetativos em sistemas de agroflorestas no bioma Caatinga.

Palavras-chave: Semiárido, agrossilvicultura, ILPF, índices de vegetação

GENERAL ABSTRACT

Knowledge about the response of the forage plant to the agroforestry system is one of the requirements for achieving success in the system, in order to make it efficient and sustainable. In this sense, the choice of species is extremely important, since the forages must be productive, tolerant to shade, adapted to intercropping with agricultural crops and adapted to the soil and climate conditions of the implantation site. Remote sensing is a promising tool for estimating and determining various biophysical and chemical characteristics in pastures, such as forage mass and leaf area index. Current grass in an agroforestry system in the Caatinga biome, as well as evaluating the performance of three vegetation indices in estimating Dry Mass (MS), Natural Mass (MN) and Leaf Area Index (LAI). The treatments consisted of four agroforestry systems: 1) current grass/buffel + beans + Caatinga vegetation; 2) current/buffel grass + cotton + Caatinga vegetation; 3) current/buffel grass + corn + Caatinga vegetation; 4) current/buffel grass + Caatinga vegetation. The three vegetation indices evaluated were the GLI, NGRDI and VARI indices. The number of tillers, expanded leaves, expanding leaves, senescent leaves, pseudostem length, expanded and expanding blade length, plant height, Leaf Area Index (LAI) and morphogenic characteristics were evaluated. To evaluate the performance of vegetation indices, correlation analysis was performed between the indices and the measurements obtained in situ from MS, MN and LAI. The experimental design used was in randomized blocks, with three replications and four treatments, consisting of four plots per block, totaling 12 plots. It was observed that the buffel and current grasses presented different responses in each agroforestry system for the structural characteristics. Agroforestry systems did not influence morphogenic characteristics. The vegetation indices obtained very satisfactory results in all agroforestry systems. Both forage plants are recommended and indicated in the agroforestry system in the Caatinga biome, integrating bean, corn and cotton crops and the indices are indicated for estimating biomass and vegetative parameters in agroforestry systems in the Caatinga biome.

Keywords: Semi-arid, agroforestry, ILPF, vegetation indices.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo e (a) visão geral da área experimental.....	27
Figura 2	Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET ₀), durante o período experimental de fevereiro de 2021 a junho de 2020.....	28
Figura 3	Detalhe do uso da fita colorida para marcação do perfilho.....	31
Figura 4	Medição da lâmina foliar.....	31
Figura 5	Medição do comprimento do pseudocolmo.....	31
Figura 6	Área de 0,25m ² para contagem dos perfilhos basais.....	32
Figura 7	Uso do ceptômetro para determinação do IAF.....	33

CAPÍTULO 2

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo e (a) visão geral da área experimental.....	55
Figura 2	Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET ₀), durante o período experimental de fevereiro de 2021 a junho de 2020.....	56
Figura 3	Área de 0,25m ² para determinação da produção de matéria natural e matéria seca.....	59
Figura 4	Uso do ceptômetro para determinação do IAF.....	59
Figura 5	Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice NGRDI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/202, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021.....	60
Figura 6	Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice GLI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/202, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021.....	61

Figura 7	Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice VARI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/202, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021.....	61
Figura 8	Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e das variáveis da produção de matéria natural (MN), matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga.....	62
Figura 9	Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e das variáveis matéria natural (MN), matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga.....	62
Figura 10	Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e as variáveis matéria natural (MN), matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga.....	63
Figura 11	Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e as variáveis matéria natural (MN), matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente e capim buffel + algodão + vegetação da Caatinga.....	63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Características químicas do solo da área experimental.....	25
Tabela 2	Nome comum e gênero das espécies encontradas na área experimental.....	30
Tabela 3	Características estruturais do capim corrente e capim buffel em sistemas agroflorestais.....	30
Tabela 4	Características morfogênicas do capim corrente e capim buffel em sistemas agroflorestais.....	30

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Índices de vegetação e as respectivas equações de uso.....	25
----------	--	----

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
1.REFERENCIAL TEÓRICO	17
Sistemas agroflorestais	17
Caracterização e degradação do bioma Caatinga	18
Uso de imagens derivadas do sensoriamento remoto e dos índices de vegetação para estimativa de parâmetros vegetativos	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS DO CAPIM BUFFEL E CORRENTE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA	23
RESUMO	23
1 INTRODUÇÃO	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Descrição da área experimental	25
2.2 Determinação das variáveis estruturais, morfogênicas, Índice de área foliar e massa seca.....	28
2.3 Delineamento experimental e análise estatística	32
3 RESULTADOS	33
3.1 Número de perfilhos	33
3.2 Folhas expandidas e em expansão	33
3.3 Folhas senescentes	34
3.4 Comprimento do pseudocolmo.....	34
3.5 Comprimento da lâmina expandida e em expansão	34
3.6 Produção de matéria natural e matéria seca.....	35
3.7 Taxa de aparecimento foliar	37
3.8 Filocrono.....	37
3.9 Taxa de alongamento foliar e do colmo	37
4 DISCUSSÃO	41
4.1 Número de perfilhos	41
4.2 Folhas expandidas e em expansão	42
4.3 Folhas senescentes	42
Comprimento de perfilho e altura da planta	41
4.4 Comprimento da lâmina expandida e em expansão	41
4.5 Índice de área foliar (IAF)	42
4.6 Produção de matéria natural e matéria seca.....	42
4.7 Variáveis morfogênicas	43
5 CONCLUSÕES	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPÍTULO 2 – USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DE MASSA DE FORRAGEM E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM SISTEMA AGROFLORESTAL EM FLORESTA TROPICAL SAZONAL SECA (CAATINGA)	50
RESUMO	50
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1 Descrição da área experimental	54
2.2 Coleta de dados de campo	56
2.3 Aquisição de imagens e estimativa dos índices de vegetação	61
2.4 Delineamento e análise estatística	62
3 RESULTADOS	63
4 DISCUSSÃO	65
5 CONCLUSÃO	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

APRESENTAÇÃO

O bioma Caatinga é extremamente sensível e vulnerável à desertificação, devido a uma série de fatores como o fator edafoclimático (solos rasos, clima quente e chuvas irregulares) e o fator antrópico. O fator antrópico é responsável por grande parte da degradação e desertificação deste bioma. A Caatinga é um bioma que tem uma perda anual da vegetação expressiva, e isto se deve principalmente ao modo que a mesma é explorada, levando a uma diminuição considerável da vegetação nativa.

Neste sentido, sistemas que integrem pastagens, culturas agrícolas e a vegetação nativa, ou seja, sistemas agroflorestais, são alternativas de sistema de produção agrícola bastante viável para Caatinga, contribuindo para maximização do uso da terra, tornando-a mais sustentável, produtiva e ao mesmo tempo bastante lucrativa. Esses sistemas combinam o cultivo de pastagens, plantas anuais e vegetação arbórea nativa, permitem aumentar os rendimentos das culturas, melhorar a saúde animal, conservação do solo, reciclagem de nutrientes e redução dos impactos ambientais. Diante disso, o conhecimento sobre a resposta da planta forrageira ao sistema agroflorestal é fundamental para o sucesso do sistema, de modo a torna-lo eficiente e sustentável e há poucas informas sobre as respostas das plantas forrageiras neste sistema na Caatinga.

A determinação da massa de forragem (MF) é um aspecto de grande relevância para obtenção de sucesso e lucratividade de um sistema agroflorestal. Uma vez que o conhecimento da produção de MF em pastagens é uma ferramenta que pode auxiliar nas melhores tomadas de decisões no manejo do pasto e do pastejo, como por exemplo no ajuste das taxas de lotação, taxa de acúmulo de forragem, taxa de consumo de forragem dos animais e nos ciclos de pastejo, ou seja, o conhecimento da biomassa é essencial para a qualidade, perenidade e persistência do pasto. Portanto as técnicas mais utilizadas e tradicionais são trabalhosas, demoradas e requerem um grande número de amostras para representar as variações que ocorrem no sistema, além disso são métodos destrutivos. Neste sentido, o sensoriamento remoto é uma ferramenta promissora para estimativa e determinação de diversas características biofísicas e químicas em pastagens, como por exemplo a massa de forragem e índice de área foliar.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais são sistemas alternativos de produção agrícola que embora praticados há milênios, só veio ganhar popularidade nos últimos 50 anos, principalmente pelo esforço e dedicação da ciência em estudar as complexas interações, benefícios e custos desses sistemas. E nos últimos anos a credibilidade dos sistemas agroflorestais vem aumentando pois comprovou-se que esses sistemas são ecologicamente corretos e economicamente viáveis (JOSE, 2009; NAIR et al., 2010; JOSE; WALTER; MOHAN KUMAR, 2017).

Os sistemas agroflorestais podem ser definidos de diversas maneiras, visto que existem inúmeras formas de implantação, tipos e modalidades de agroflorestas. Portanto, o Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF) define sistema agroflorestal como sistema onde culturas agrícolas e/ou animais são utilizadas nas mesmas áreas com espécies lenhosas perenes (árvores), num determinado arranjo espacial e temporal. O ICRAF também define agrofloresta como sistemas baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que, por meio da integração de árvores na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais (MICCOLIS et al., 2016).

Elevitch et al., (2018) identificaram quatro características típicas de um sistema agroflorestal, que de uma maneira interrelacionadas podem ser alcançadas por meio de várias práticas. Essas características servem de critérios para identificar um padrão que denomine uma agrofloresta. Assim, esses autores propuseram as seguintes características. A primeira característica elencada pelos autores é a integração de árvores e arbustos (perenes) dentro do sistema de cultivo, sendo uma característica fundamental e necessária para esse sistema, visto que essa característica é mencionada em todas as definições a respeito de agrofloresta. A presença dessas plantas no sistema é bastante vantajosa, devido aos inúmeros benefícios por elas trazidos, como a diminuição considerável da erosão em comparação com o sistema convencional, devido o sistema radicular mais extensos e profundos. Elas também tem um grande potencial no armazenamento de carbono acima e abaixo do solo, onde é um importante sequestrador de carbono da atmosfera. Além disso, essas plantas são mais resistentes as variações ambientais, proporcionando maior resiliência em comparação com os culturas anuais (NAIR, 2017;

ELEVITCH; MAZAROLI; RAGONE, 2018; LOVELL et al., 2018). A segunda característica dos sistemas agroflorestais é a alta densidade de plantas, cujo benefício é o aumento da produção de matéria orgânica, por meio da queda das folhas, senescência da raiz e podas, além disso leva-se a um aumento da cobertura morta do solo, aumentando a capacidade de retenção do solo e diminuição da erosão. A alta densidade de plantas também permite o aumento da biodiversidade no sistema (ELEVITCH; MAZAROLI; RAGONE, 2018). A terceira característica é a configuração “multistory”, ou seja, a presença de árvores e arbustos de várias alturas, visto que, é resultado da integração de muitas espécies. Agroflorestas de múltiplas alturas propiciam um maior habitat para os mais diversos organismos, favorecendo o aumento da biodiversidade no sistema. Além disso, essa variedade de portes aumenta a capacidade de sequestro de carbono. A quarta característica é a inclusão de múltiplas espécies e variedades, com a finalidade de aumentar a riqueza de espécies e com isso aumentar a produtividade e a biomassa do sistema. Com isso, garante uma maior resiliência do sistema, principalmente após perturbações e extremos climáticos (ELEVITCH; MAZAROLI; RAGONE, 2018).

Caracterização e degradação do bioma Caatinga

A Caatinga é um bioma bastante representativo do Brasil, pois abrange uma área de 912.529 km², o que corresponde a 10,7% do território nacional. O bioma abrange em média 85 milhões de hectares do território brasileiro, abrangendo praticamente todos os estados nordestinos, entre eles Ceará, Bahia, Sergipe, Pernambuco, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, e uma pequena porção do estado do Maranhão e Minas Gerais (MICCOLIS et al., 2016; SILVA et al., 2021) A precipitação média na região varia entre 400 e 800 mm.ano⁻¹ e pode ser inferior a 300 mm.ano⁻¹ em áreas mais secas. A evapotranspiração deste local está em torno de 1500 mm e 2000 mm anuais, ou seja, bem maior que as chuvas, em geral. A temperatura média é constante ao longo do ano, variando de 25 a 30 ° C. Por está localizada em uma região semiárida, a Caatinga tem um extenso período de estiagem, com escassez de chuvas, fazendo com que ocorra a caducifolia em grande parte da vegetação existente. A caducidade da vegetação dá sentido ao o nome deste bioma, que é derivada do tupi e significa “floresta branca” ou “mata branca”, que faz alusão à aparência que se dá em decorrência da perda das folhas durante a estação seca (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017).

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que abriga uma biodiversidade muito rica e diversa, cerca de 4.657 espécies de plantas com sementes, em que 913

(19,7%) são espécies endêmicas, concentradas principalmente nas serras Diamantina e do Araripe (MANHÃES et al., 2016; SILVA; SOUZA, 2018). Abriga uma de fauna, com 178 espécies de mamíferos, 591 de aves, 177 de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 de peixes e 221 de abelhas (MICCOLIS et al., 2016).

O bioma Caatinga é extremamente sensível e vulnerável à desertificação, devido a uma série de fatores como o fator edafoclimático (solos rasos, clima quente e chuvas irregulares) e o fator antrópico (MICCOLIS et al., 2016). O fator antrópico é responsável por grande parte da degradação e desertificação deste bioma. Segundo Beuchle et al. (2015) a Caatinga tem uma perda média anual de vegetação nativa de cerca de 0,3% ao ano, apresentando mais de 48% da vegetação nativa já desmatada até o ano de 2009. Entretanto, a vegetação remanescente continua sendo explorada pelos grandes e pequenos agropecuaristas, madeireiros, indústrias, irrigantes e etc, em que, sendo mal explorada e manejada causam degradação deste bioma (SFAIR et al., 2018). Este bioma sofre os impactos severos da exploração da vegetação desde os primórdios da colonização do Brasil, em que os colonizadores europeus, introduziram a criação do gado, agricultura e a produção de carvão vegetal (extração da madeira). E isto se perdura até hoje, onde estas são as principais atividades desenvolvidas na região e também são as principais razões da degradação da vegetação e solo da Caatinga, isto é, do ecossistema como um todo (MICCOLIS et al., 2016). Assim como o desmatamento, à queimada é outra prática bastante destrutiva que é tradicional na região, em que teve um grande auge entre o final do século XIX e na década de 1950, devido a expansão da cotonicultura. Nesse período, o mercado estava bastante favorável a produção da fibra, o que incentivava a queimada, para maior ampliação das áreas de cultivo num menor tempo (BARTOLOMEU; ARTIGAS; LIMA, 2015).

Neste sentido, os sistemas agroflorestais em que visam integrar plantas forrageiras, culturas de ciclo curto e plantas nativas da Caatinga, surge como uma alternativa para aliar a conservação do bioma com a produtividade do sistema, e assim assegurar a qualidade de vida dos agricultores.

Uso de imagens derivados do sensoriamento remoto e dos índices de vegetação para estimativa de parâmetros vegetativos

Segundo Kuplich et al. (2016) o sensoriamento remoto (SR) é o registro da radiação eletromagnética (REM) feito por sensores portáteis a bordo de veículos aéreos ou satélites que é refletida ou emitida por objetos, tendo como um dos produtos imagens que trazem informações e características espectrais do objeto analisado. Na qual cada objeto na superfície terrestre tem sua particularidade em relação a reflexão da REM, ou seja cada objeto tem a sua uma assinatura espectral. Um dos aspectos que determinam o sucesso e eficiência do sensor no SR é o número de bandas que o mesmo é capaz de captar, ou seja quanto maior for a faixa espectral por ele absorvido, maior e melhor será a capacidade deste sensor em representar e descrever as características dos objetos.

Imagens derivadas do sensoriamento remoto é uma ferramenta bastante promissora e eficiente para a caracterização da vegetação ambientes naturais ou manejados, como é no caso dos ambientes agroflorestais, onde uma das suas vantagens de seu uso é a capacidade de cobrir e mapear uma grande área da superfície utilizada. Além disso, permite que as análises sejam realizadas com um menor esforço e também minimizem os procedimentos laboratoriais, que muitas vezes demandam maior mão de obra, custo e tempo. (KUPLICH et al.2016; GUERINI FILHO et al., 2020).

Outra vantagem do sensoriamento remoto está na viabilização dos índices de vegetação como ferramenta para estimativa de parâmetros vegetativos. Os índices de vegetação são estimados a partir de combinações matemáticas da resposta espectral de diferentes bandas do espectro eletromagnético (HILL, 2013; PAN et al., 2013; GUERINI FILHO et al., 2020). O índice de vegetação (IV), é uma ferramenta que pode ser usada amplamente na estimativa de uma gama de parâmetros da vegetação, dentre elas variáveis produtivas em sistemas agrícolas utilizando imagens digitais. Porém, cada IVs apresenta uma eficiência diferente para cada tipo de local e vegetação e isto se deve ao fato do mais variados IVs terem as suas particularidades, principalmente no que se diz respeito as combinações de bandas e as diferentes fórmulas matemática que estão inerentes aos índices, com isso, cada IV, estimará de forma diferente as características da vegetação, fazendo com que varie a sua precisão (JIANG et al., 2019; SAARELA et al., 2020; NAIK; DALPONTE; BRUZZONE, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOLOMEU, I. S.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. CAATINGA E DESERTIFICAÇÃO the Caatinga and desertification. **Mercator**, n. 1, p. 131–150, jan. 2015.

BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, mar. 2015.

ELEVITCH, C. R.; MAZAROLI, D. N.; RAGONE, D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture. **Sustainability** 2018, Vol. 10, Page 3337, v. 10, n. 9, p. 3337, 18 set. 2018.

GUERINI FILHO, M.; KUPLICH, T. M.; QUADROS, F. L. F. Estimativa de biomassa de pastagens naturais por índices de vegetação usando dados de sensoriamento remoto Sentinel 2. **Revista Internacional de Sensoriamento Remoto**, v. 41, n. 8, pág. 2861-2876, 2020.

HILL, M. J. Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect. **Remote Sensing of Environment**, v. 137, p. 94-111, 2013.

JIANG, J. et al. Using Digital Cameras on an Unmanned Aerial Vehicle to Derive Optimum Color Vegetation Indices for Leaf Nitrogen Concentration Monitoring in Winter Wheat. **Remote Sensing** 2019, Vol. 11, Page 2667, v. 11, n. 22, p. 2667, 14 nov. 2019

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry systems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009.

JOSE, S.; WALTER, D.; MOHAN KUMAR, B. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agroforestry Systems** 2017 93:1, v. 93, n. 1, p. 317–331, 6 jan. 2017.

KUPLICH, T. M.; BARBIERI, D. W.; MOREIRA, A.; QUADROS, F. L. F.; TRENTIN, A. B.; CORAZZA, R.; DEPRÁ, B. Algumas aplicações de sensoriamento remoto em estudos de vegetação campestre no RS. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Brasil. São José dos Campos 2016. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LQEG78>>. Acesso em: 16 jan. 2022.

LOVELL, S. T.; DUPRAZ, C.; GOLD, M.; JOSE, S.; REVORD, R.; STANEK, E.; WOLZ, K. J. Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 5, p. 1397-1415, 2018.

MANHÃES, A. P.; MAZZOCHINI, G. G.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; GANADE, G.; CARVALHO, A. R. Spatial associations of ecosystem services and biodiversity as a baseline for systematic conservation planning. **Diversity and Distributions**, v. 22, n. 9, p. 932-943, 2016.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; ... & PEREIRA, A. V. B. Restauração ecológica com sistemas agrofloretais: como conciliar conservação com produção: opções para

- Cerrado e Caatinga. **Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2016.
- NAIR, P. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M.; SHOWALTER, J. M. Carbon sequestration in agroforestry systems. **Advances in agronomy**, v. 108, p. 237-307, 2010.
- NAIR, P. K. Managed multi-strata tree+ crop systems: an agroecological marvel. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, p. 88, 2017.
- NAIK, P.; DALPONTE, M.; BRUZZONE, L. Prediction of Forest Aboveground Biomass Using Multitemporal Multispectral Remote Sensing Data. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1282, 2021.
- PAN, Z.; HUANG, J.; ZHOU, Q.; WANG, L.; CHENG, Y.; ZHANG, H.; BLACKBURN, G. A.; YAN, J.; LIU, J. Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 188-197, 2015.
- SAARELA, S. et al. Mapping aboveground biomass and its prediction uncertainty using LiDAR and field data, accounting for tree-level allometric and LiDAR model errors. **Forest Ecosystems 2020 7:1**, v. 7, n. 1, p. 1–17, 3 jul. 2020
- SFAIR, J. C. et al. Chronic human disturbance affects plant trait distribution in a seasonally dry tropical forest. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 2, p. 025005, 2 fev. 2018.
- SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the Caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. **PLOS ONE**, v. 13, n. 4, p. e0196130, 1 abr. 2018.
- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America. **Springer**, p. 1–482, 9 jan. 2017.
- SILVA, J. V. C. DE L. et al. Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. **European Journal of Soil Biology**, v. 103, p. 103296, mar. 2021.

CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS MORFOGÊNICAS E ESTRUTURAIS DO CAPIM BUFFEL E CORRENTE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO BIOMA CAATINGA

RESUMO

O conhecimento sobre a resposta da planta forrageira ao sistema agroflorestal é um dos requisitos para obtenção de sucesso ao sistema, de modo a torná-lo eficiente e sustentável. Assim, objetivou-se avaliar as características estruturais e morfogênicas do capim buffel e capim corrente em sistema de agrofloresta no bioma Caatinga. O experimento foi conduzido, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Serra Talhada, Pernambuco. A área experimental possuía 7.200 m² (90 x 80 metros) apresentando três blocos com quatro parcelas (parcelas), totalizando 12 parcelas de 584 m² (20 m x 29,2 m). Os tratamentos consistiram em quatro sistemas agroflorestais, onde integravam as plantas forrageiras (capim corrente e capim buffel), cultivo agrícola (feijão caupi, algodão e milho) e vegetação do bioma Caatinga (nativa e enriquecida). Foram avaliados número de perfilhos, folhas expandidas, folhas em expansão, folhas senescentes, comprimento do pseudocolmo, comprimento da lâmina expandida e em expansão, altura da planta, Índice de Área Foliar (IAF) e as características morfogênicas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições e quatro tratamentos, consistindo em quatro parcelas por bloco, totalizando 12 parcelas. Observou-se que os capins buffel e corrente apresentaram respostas diferentes em cada sistema agroflorestal para as características estruturais. Os sistemas agroflorestais não influenciaram na produtividade das plantas forrageiras e também nas características morfogênicas. Ambas as plantas forrageiras são recomendadas e indicadas no sistema agroflorestal no bioma Caatinga, integrando as culturas do feijão, milho e algodão.

Palavras chaves: agrofloresta, plantas forrageiras, morfogênese, semiárido

CHAPTER 1 – MORPHOGENIC AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF BUFFEL GRASS AND CURRENT IN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE CAATINGA BIOMA

Knowledge about the response of the forage plant to the agroforestry system is one of the requirements for achieving success in the system, in order to make it efficient and sustainable. Thus, the objective was to evaluate the structural and morphogenic characteristics of buffel grass and current grass in an agroforestry system in the Caatinga biome. The experiment was carried out at the Serra Talhada Academic Unit (UAST), of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), in Serra Talhada, Pernambuco. The experimental area had 7,200 m² (90 x 80 meters) with three blocks with four plots (plots), totaling 12 plots of 584 m² (20 m x 29.2 m). The treatments consisted of four agroforestry systems, which integrated forage plants (current grass and buffel grass), agricultural crops (cowpea, cotton and corn) and vegetation of the Caatinga biome (native and enriched). The number of tillers, expanded leaves, expanding leaves, senescent leaves, pseudostem length, expanded and expanding blade length, plant height, Leaf Area Index (LAI) and morphogenic characteristics were evaluated. The experimental design used was in randomized blocks, with three replications and four treatments, consisting of four plots per block, totaling 12 plots. It was observed that the buffel and current grasses

presented different responses in each agroforestry system for the structural characteristics. The agroforestry systems did not influence the productivity of forage plants and also the morphogenic characteristics. Both forage plants are recommended and indicated in the agroforestry system in the Caatinga biome, integrating bean, corn and cotton crops.

Keywords: agroforestry, forage plants, morphogenesis, semiarid

1 INTRODUÇÃO

O processo de degradação e/ou desertificação, associado com a vulnerabilidade climática, fazem com que a Caatinga seja um dos biomas mais ameaçados do Brasil. Em razão, principalmente, da expansão principalmente à expansão da agropecuária, uma vez que para abertura de novas áreas, retira-se a mata nativa, acarretando nos problemas ecológicos, como redução da biodiversidade e qualidade do solo (SILVA et al., 2020). Segundo Queiroz et al., (2020), o desmatamento da vegetação natural da Caatinga pode acarretar em uma redução de 47% do teor de água do solo, impactando negativamente a biodiversidade local, pois o teor de água no solo é a principal fonte de água para a agricultura e vegetação natural. Neste sentido, sistemas que integrem pastagens, culturas agrícolas e a vegetação nativa, ou seja, sistemas agrofloretais, são alternativas de sistema de produção agrícola bastante viável para Caatinga, contribuindo para maximização do uso da terra, tornando-a mais sustentável, produtiva e lucrativa (JAVANMARD et al., 2020).

Os sistemas que combinam o cultivo de pastagens, plantas anuais e vegetação arbórea nativa, permitem aumentar os rendimentos das culturas, melhorar a saúde animal, conservação do solo, reciclagem de nutrientes e redução dos impactos ambientais que normalmente a agricultura promove (GOLD; GARRETT, 2015). Além disso, estes sistemas são uma promissora técnica para recuperação de pastagens degradadas, pois permitem a melhoria da qualidade do solo, otimização do sequestro de carbono, melhoria da qualidade da água, manutenção das propriedades hidráulicas do solo, contenção do escoamento superficial, bem como no aumento do teor de carbono orgânico do solo, por meio da queda de serapilheira (PAUDEL; UDAWATTA; ANDERSON, 2011).

O conhecimento sobre a resposta da planta forrageira ao sistema agroflorestral é um dos requisitos para obtenção de sucesso ao sistema, de modo a torna-lo eficiente e sustentável. Neste sentido, a escolha das espécies é essencial, visto que as forrageiras devem ser produtivas, tolerantes ao sombreamento, adaptadas ao consórcio com culturas agrícolas e às condições edafoclimáticas do local de implantação, especialmente em

locais sob condições semiáridas (OLIVEIRA et al., 2007) . Apesar desta importância, há escassos estudos em sistemas agroflorestais em regime de serqueiro em regiões semiáridas, no bioma Caatinga. Além disso, pouco se sabe sobre sistemas de agroflorestas em regime de sequeiro em regiões semiáridas, no bioma Caatinga. Nossa hipótese é que as plantas forrageiras apresentam aptidão a determinado sistema agroflorestal, sem prejudicar as suas características morfogênicas e estruturais.

Diante do exposto, o nosso objetivo foi avaliar as características estruturais e morfogênicas do capim buffel e do capim corrente em sistema de agrofloresta no bioma Caatinga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido, no período de 26 fevereiro a 17 de junho de 2021, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Serra Talhada, Pernambuco (7° 57' 41" S, 38° 17' 68" O e 515 m) (Figura 1). Na qual a região apresenta clima do tipo BShw', de acordo com a classificação de Köopen, onde se caracteriza como semiárido quente, com precipitação pluvial média de 642 mm ano⁻¹, temperatura média do ar de 24,8°C, umidade relativa do ar aproximadamente de 62%, e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano⁻¹(INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2021).

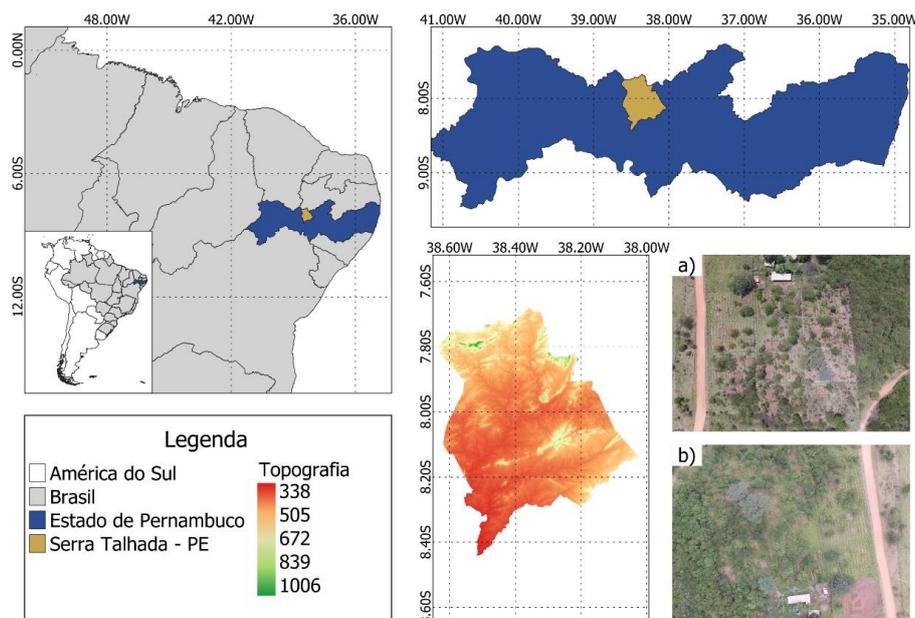


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e a) visão geral ao final do experimento; (b) Visão geral ao início do experimento.

Os dados meteorológicos durante o período experimental foram monitorados por uma estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada dentro da unidade. De acordo com os dados de precipitação obtidos, observou-se que a precipitação acumulada do experimento foi superior a 390mm, onde o período de maior precipitação ocorreu no mês de abril, sendo acima de 126 mm. A Evapotranspiração de referência (ET_o) média durante o experimento foi de 4,11mm dia⁻¹, com valor máximo de 6,18mm dia⁻¹ e mínimo de 1,94mm dia⁻¹.

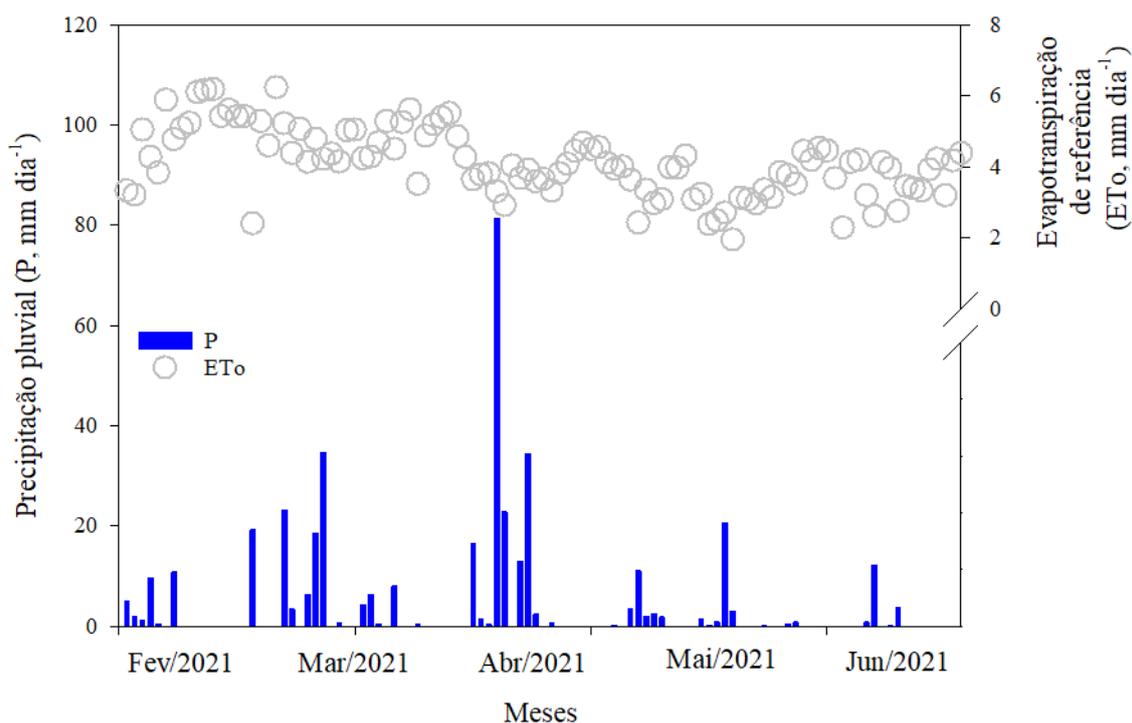


Figura 2. Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET_o), durante o período experimental de fevereiro de 2021 a junho de 2020

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico e apresenta textura franco-arenosa, eutrófico, de acidez fraca e fertilidade média a alta (NETO, 2017). Para a caracterização química do solo, foram coletadas 36 amostras de solo em diferentes pontos da área, na profundidade de 0-20 cm, sendo coletados três amostras em cada parcela. As ferramentas utilizadas para coleta das amostras foram: cavadeira manual, balde, sacos plásticos e um pincel para identificação das amostras.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental

Características	pH	MO	P	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	CTC	V
	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ³	-----cmol _c /dm ³ -----						%
Valores	7,0	26,7	99,25	0,41	8,2	3,3	0,0	0,0	11,85	100

MO: matéria orgânica; P: fósforo; K+: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; H+Al: Acetato de Cálcio; Al³⁺: alumínio; CTC: capacidade de troca catiônicas; V: saturação por bases

A área experimental possuía 7.200 m² (90 x 80 metros) apresentando três blocos com quatro parcelas, totalizando 12 parcelas de 584 m² (20 m x 29,2 m). O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos em regime de sequeiro. Os tratamentos consistiram em quatro sistemas agroflorestais, onde integravam as plantas forrageiras, *Urochloa mosambicensis* Hack Dandy (capim corrente) e *Cenchrus ciliaries* L. (capim buffel), culturas agrícolas, *Vigna unguiculata* L. (feijão caupi), *Gossypium hirsutum* L. (algodão) e *Zea mays* L. (milho) e a vegetação do bioma Caatinga (Tabela 2). Os sistemas agroflorestais foram os seguintes: 1) capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga; 2) capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga; 3) capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga; 4) capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga. As sementes de *V. unguiculata* L. e *Z. mays* L., foram de variedades crioulas provenientes do banco de sementes de produtores do município de São José do Egito, PE, identificadas como “Rabo de tatu” (feijão) e “Batité” (milho). Por sua vez, o cultivo do algodão, foi utilizado a cultivar BRS Aroeira.

Tabela 2. Nome comum e espécie encontradas na área experimental

Nome Vulgar	Espécie
Mororó	<i>Bauhinia cheilantha</i> Steud.
Marmeleiro	<i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg.
Feijão bravo	<i>Capparis flexuosa</i> L.
Jurema branca	<i>Mimosa</i> sp.
Cipó unha-de-gato	<i>Uncaria</i> sp.
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.
Maniçoba	<i>Manihot glaziovii</i> Müll. Arg.
Juazeiro	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart
Angico	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth) Brenan
Tingui	<i>Magonia</i> sp.

Capim meloso	<i>Melinis</i> sp.
Picão preto	<i>Bidens pilosa</i>
Pau-piranha	<i>Guapira</i> sp.
Capa bode	<i>Melochia tomentosa</i> L.
Aroeira mansa	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão
Mandacaru	<i>Cereus jamacaru</i> . DC
Incó	<i>Neocalyptrocalyx</i> sp.
Jurema preta	<i>Mimosa tenuiflora</i> Benth.
Jitirana	<i>Merremia aegyptia</i> (L.) Urb.

A vegetação herbácea, capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* Hack Dandy) e capim-buffel (*Cenchrus ciliaries* L.), já estava estabelecida na área, sendo a mesma semeada na década de 80. Antes da implantação do experimento, foi realizado o corte de uniformização das duas gramíneas, deixando-as com 10 cm de altura. O corte de uniformização foi realizado com auxílio de uma roçadeira costal e o material cortado foi mantido na área experimental.

No preparo da área, foram abertos faixas para o plantio dos cultivos agrícolas, de 1 metro de largura e 26 metros de comprimento e entre essas faixas estava situado o capim buffel e o capim corrente com aproximadamente 2 metros de largura e 26 metros de comprimento. O plantio das culturas agrícolas foi realizado por semeadura em covas, semeando-se para o algodão, milho e feijão, cinco, quatro e três sementes por cova, respectivamente. Os espaçamentos dos sistemas que integravam as culturas agrícolas foram de 2 m entre fileiras e 0,5m entre plantas e uma distância de 0,5m entre a cultura e as plantas forrageiras. A densidade de plantio do feijão, milho e algodão foram: 30000, 40000 e 50000 plantas por hectare, respectivamente.

2.2 Determinação das variáveis estruturais, morfogênicas, Índice de área foliar e massa seca

Para a determinação das variáveis estruturais e morfogênicas foi utilizada a técnica dos “perfilhos marcados” (Figura 3) (CARRERE; LOUAULT; SOUSSANA, 1997). Foram marcados com fitas coloridas três perfilhos escolhidos aleatoriamente por planta, onde foram feitas avaliações semanais durante 13 semanas consecutivas, tendo como base de encerramento o fim do ciclo do feijoeiro. Semanalmente realizou-se a

contagem dos números de lâminas expandidas, número de lâminas em expansão, número de lâminas senescentes. Além disso, foi realizado a medição das lâminas expandidas e em expansão. Para as lâminas expandidas, mediu-se o comprimento da ponta da lâmina até a lígula (Figura 4). No caso de lâminas em expansão, o mesmo procedimento era adotado, porém, considerando-se a lígula da última lâmina expandida como referencial de medida. O comprimento do pseudocolmo foi considerado como sendo à distância do solo até a última lígula completamente expandida (Figura 5). Para determinação do número de perfilhos basais, efetuou-se a contagem de perfilhos contidos em três áreas, cada uma com $0,25\text{m}^2$ ($0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$) (Figura 6).



Figura 3. Detalhe do uso da fita colorida para marcação do perfilho



Figura 4. Medição da lâmina foliar



Figura 5. Medição do comprimento do pseudocolmo.



Figura 6. Área de 0,25m² para contagem dos perfilhos basais.

A partir dos dados registrados no campo, foram realizados os cálculos para determinação das variáveis morfogênicas:

1) Taxa de aparecimento foliar, em folhas/perfilho/dia: relação entre o número de folhas surgidas por perfilho e o número de dias do período de avaliação;

2) Filocrono: inverso da taxa de aparecimento de folhas (dias/folha/perfilho). Representa a média do intervalo de tempo para o aparecimento de duas folhas sucessivas em cada perfilho;

3) Taxa de alongamento foliar, em cm/perfilho/dia: diferença entre o comprimento final e o comprimento inicial das folhas em expansão, dividida pelo número de dias entre as medições;

4) Taxa de alongamento do pseudocolmo, em cm/perfilho/dia: Relação entre a diferença do comprimento do pseudocolmo, final e inicial, e o número de dias do período de avaliação.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado utilizando-se o sensor portátil ceptômetro (AccuPAR LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA), que se baseia na interceptação luminosa para estimativa do IAF, e para a determinação do IAF foram realizadas cinco medidas na área útil de cada parcela a 0,10 m da superfície do solo, evitando-se a interferência do material morto (Figura 7).



Figura 7. Uso do ceptômetro para determinação do IAF

Para a determinação da massa seca dos capins foram colhidas 3 amostras representativas em cada parcela, em uma área de 0,25m² (0,5m x 0,5m). Onde foram pesadas, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72h, para posterior determinação do teor de matéria seca (MS). Além disso, as amostras de forragem foram separadas manualmente nas frações lâmina foliares e colmo (colmo + bainhas foliares).

2.3 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições e quatro tratamentos, consistindo em quatro parcelas (piquetes) por bloco, totalizando 12 parcelas. As coletas dos dados foram provenientes de três plantas por parcela e de cada planta foram coletados dados de três perfilhos.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do procedimento PROC MIXED do *Statistical Analysis Systems* (SAS, versão 9.1) . Para comparação das médias, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para análise estatística dos dados de características estruturais (número de perfilhos, folhas expandidas, folhas em expansão, folhas senescentes, comprimento do pseudocolmo, comprimento da lâmina expandida, comprimento da lâmina em expansão, altura da planta e IAF) e das variáveis morfogênicas (taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento foliar e taxa de alongamento do pseudocolmo) foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \delta_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

y_{ij} = é a observação no bloco j ($j=1,\dots,b$) do tratamento i ($i=1,\dots,k$);

μ = é a média geral associada a todas as observações;

τ_i = é o efeito dos sistemas agroflorestais

δ_j = é o efeito do bloco j ;

ε_{ij} = é o erro associado a observação no bloco j do tratamento i ;

3 RESULTADOS

Analisando-se os dados de características estruturais, perfilhos basais, folhas expandidas, folhas em expansão, folhas senescentes, comprimento do pseudocolmo, comprimento das lâminas expandidas e expansão, altura da planta e índice de área foliar (IAF), constata-se que apenas a variável folhas senescentes não houve efeito significativo ($P > 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 3).

3.1 Número de perfilhos

Observa-se na variável perfilhos basais (Tabela 3) que o capim buffel apresentou resultados semelhantes em todos os sistemas analisados, com exceção do sistema “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga”. Já o capim corrente, independente do sistema, apresentou respostas semelhantes para todos os sistemas agrofloretais, porém com valores inferiores no sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga”. Apesar do não interesse em comparar as duas espécies forrageiras uma com a outra, observou-se que independente do sistema agroflorestral, o capim buffel apresentou maiores valores do que o capim corrente, em média duas vezes mais.

3.2 Folhas expandidas e em expansão

Para folhas expandidas (Tabela 3), observou-se que o capim buffel foi superior ($P < 0,05$) ao capim corrente em todos os sistemas. Analisando de maneira isolada, a quantidade de folhas expandidas foi maior no sistema “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga” (17,42), porém igual estatisticamente que os sistemas “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga” e “capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga” e inferior no sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga” (13,52). Para o capim corrente observou-se que em todos os sistemas o mesmo obteve resultados iguais estatisticamente.

Em relação a quantidade de folhas em expansão, também observou-se que o capim buffel se sobressaiu (aproximadamente 2,4 vezes maior) em comparação com o capim corrente em todos os sistemas. Contudo, os dois capins apresentaram comportamento semelhante em todos os sistemas.

3.3 Folhas senescentes

Na variável folhas senescentes (Tabela 3), não houve significância ($P>0,05$). Porém, o capim buffel obteve as maiores médias de folhas senescentes, em média 1,20 vezes maior que o capim corrente.

3.4 Comprimento do pseudocolmo

No comprimento do pseudocolmo (Tabela 3), o capim corrente obteve maior média que o capim buffel independente do sistema agroflorestal. Para o capim corrente, observa-se resultados semelhantes em todos os sistemas, com exceção do "capim corrente/buffel + milho + vegetação da caatinga"., o capim corrente apresentou resultados semelhantes em todos os sistemas. Por outro lado, a média de comprimento do pseudocolmo do capim buffel foi igual estatisticamente em todos os sistemas.

3.5 Comprimento da lâmina expandida e em expansão

Para o comprimento das lâminas expandidas (Tabela 3), observou-se que no sistema "capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga", seguido dos sistemas "capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga" e "capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga", o capim buffel foi superior ao capim corrente. Porém, no sistema "corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga", o capim buffel obteve valores semelhantes ao capim corrente. Observou-se também que em todos os sistemas, o capim corrente obteve comprimentos médio iguais.

No comprimento da lamina em expansão (Tabela 3), os capins tiveram respostas particulares para cada sistema agroflorestal. No sistema caatinga, milho e algodão o capim buffel se sobressaiu ao capim corrente, porém no sistema feijão, o capim corrente obteve maiores médias. De maneira isolada, o capim buffel obteve médias semelhantes em todos os sistemas, exceto no sistema feijão, em que obteve menores médias que as demais. No capim corrente, observa-se que todos os sistemas tiveram resultados semelhantes.

Pode-se observar que independente do sistema, o capim corrente se sobressaiu ao capim buffel, em relação à altura de plantas. Em ambos os capins a altura média não diferiu entre si dentro dos sistemas. Diferente da altura da planta, o capim corrente obteve o menor índice de área foliar (IAF) em todos os sistemas, exceto no sistema agroflorestal com o milho, além disso observou-se que em todos os sistemas o capim corrente

apresentou médias iguais estatisticamente. De modo semelhante, o capim buffel obteve comportamento igual em todos os sistemas analisados.

3.6 Massa de forragem verde e Massa de forragem seca

Para as variáveis produção de matéria natural e matéria seca de ambas as forrageiras (Tabela 3), pode-se observar que as mesmas não foram influenciadas pelos sistemas agroflorestais ($P > 0,05$). Entretanto, foi observado significância entre as plantas forrageiras ($P < 0,05$). Para produção de matéria natural, apesar da não significância da interação entre os sistemas agroflorestais e as plantas forrageiras, o capim buffel se sobressaiu numericamente no sistema “capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga), produzindo em média $1353 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a mais que os outros sistemas, e o menor valor de produtividade para o mesmo capim, foi obtido no sistema “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga”. O capim corrente por sua vez, obteve uma maior produção de matéria natural no sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga”, seguidos dos sistemas “capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga”, “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga” e “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga”.

Para produção de matéria seca (Tabela 3), observou-se que o capim buffel e capim corrente, obtiveram maiores produtividades no sistema “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga” e “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga”, respectivamente, enquanto que a menor produtividade foi obtido no sistema “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga” para o capim buffel e no sistema “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga” para o capim corrente.

Tabela 3. Características estruturais e massa de forragem do capim corrente e capim buffel em sistemas agroflorestais

Variáveis	Caatinga		Feijão		Milho		Algodão		EPM ¹	<i>p</i>
	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente		
Perfilhos Basais (un.)	70.67b	58.93c	85.18a	48.90cd	94.27a	42.59d	94.65a	59.57bc	1.26	<.0001
Folha expandida (un.)	17,42a	8,76c	16,56a	5,76c	13,52b	8,03c	14,75ab	8,27c	0.29	0.0078
Folha em expansão (un.)	5,42a	2,65b	5,47a	1,57b	4,91a	2,15b	4,68a	2,59b	0.10	0.0273
Folha senescente (un.)	7,28	4,60	5,06	3,85	5,42	4,07	4,61	4,12	0.18	0.1493
Comprimento do pseudocolmo (cm)	53,91cd	69,01a	49,34d	69,59a	50,69d	59,62bc	50,80d	68,56a	0.64	0.0099
Comprimento lâmina expandida (cm)	18,19ab	14,66c	15,35c	16,03bc	18,75a	15,11c	17,75ab	15,15c	0.17	0.0001
Comprimento lâmina em expansão (cm)	11,97a	8,60bcd	9,07bcd	9,80abcd	10,33ab	7,82d	10,49ab	8,05cd	0.18	0.0029
Altura da planta (cm)	61,56b	69,63a	55,55b	74,41a	59,08b	68,19a	57,36b	69,62a	0.59	0.0123
Índice de Área Foliar	1,85a	1,25cd	1,79ab	0,96d	1,79ab	1,61ab	1,92a	1,50bc	0.03	0.0010
Massa de forragem verde (kg.ha ⁻¹)	7900,60a	7398,44b	8509,96a	4670,01b	9910,01a	8245,90b	10126,98a	7400,71b	445,17	0.0150
Massa de forragem seca (kg.ha ⁻¹)	2759,37a	2335,24b	3754,79a	1217,71b	3344,44a	2582,21b	3502,26a	2123,09b	214,74	0.0032

3.7 Taxa de aparecimento foliar

Os sistemas agroflorestais não influenciaram ($P>0,05$) a taxa de aparecimento foliar das gramíneas estudadas (Tabela 4), sendo obtido em média, para o capim buffel e capim corrente, 0,60 e 0,24 folhas $\text{dia}^{-1}\text{perfilho}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, numericamente, ressalta-se que o maior valor de taxa de aparecimento foliar no capim buffel foi observado no sistema “capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga”, enquanto que o sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga” foi o que proporcionou o menor valor para o mesmo. Já para o capim corrente, observou-se que o sistema “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga” foi o que obteve o menor valor de taxa de aparecimento foliar, e nos demais sistemas agroflorestais os valores dessa variável foram similares.

3.8 Filocrono

O filocrono, definido como o tempo, em dias, para aparecimento de duas folhas sucessivas não foi influenciado significativamente pelos sistemas agroflorestais ($P>0,05$), sendo obtidos, em média, 2,12 dias $\text{folhas}^{-1}\text{perfilho}^{-1}$ (Tabela 4), para o capim buffel e 4,28 dias $\text{folhas}^{-1}\text{perfilho}^{-1}$ para o capim corrente (Tabela 3).

3.9 Taxa de alongamento foliar e do colmo

Para avaliação da taxa de alongamento do colmo e alongamento foliar (Tabela 4), ambas as plantas forrageiras não foram influenciadas pelos sistemas agroflorestais ($P>0,05$). No entanto, observou-se que o capim buffel, numericamente se sobressaiu no sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga”, em relação a taxa de alongamento foliar, sendo em média superior 1,60 vezes mais do que os outros sistemas agroflorestais. O capim corrente por sua vez, obteve superioridade numérica no sistema “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga”, apresentando em média 1,44 vezes maior que os outros sistemas.

Para a taxa de alongamento do colmo (Tabela 4), observou-se que assim como todas as outras variáveis morfogênicas, as plantas forrageiras não foram influenciadas pelos sistemas agroflorestais ($P>0,05$). Observou-se que o capim buffel, obteve uma taxa de alongamento média de 0,58 cm dia^{-1} , onde, no sistema “capim corrente/buffel + algodão + vegetação da Caatinga” apresentou a menor taxa de alongamento, em média 1,56 vezes inferior que os outros sistemas. Para o capim corrente, os sistemas agroflorestais obtiveram valores próximos, com exceção do sistema feijão, que sobressaiu numericamente dos demais.

Tabela 4. Características morfológicas do capim corrente e capim buffel em sistemas agroflorestais

Variáveis morfológicas	Caatinga		Feijão		Milho		Algodão		EPM ¹	<i>p</i>
	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente	Buffel	Corrente		
Taxa de aparecimento (folhas dia ⁻¹ perfilho ⁻¹)	0,74a	0,25b	0,62a	0,14b	0,41a	0,29b	0,66a	0,28b	0,0637	0,0216
Filocrono (folhas dia ⁻¹ perfilho ⁻¹)	1,84b	4,25a	1,85b	5,28a	2,73b	3,96a	2,06b	3,65a	0,2987	0,0173
Taxa de alongamento foliar (cm dia ⁻¹)	0,36	0,26	0,20	0,40	0,42	0,32	0,32	0,26	0,0286	0,6904
Taxa de alongamento do colmo (cm dia ⁻¹)	0,69b	1,27a	0,65b	1,55a	0,58b	1,33a	0,41b	1,31a	0,0975	0,0001

¹Erro Padrão da média

4 DISCUSSÃO

4.1 Número de perfilhos

O perfilhamento é um aspecto essencial para adaptação das plantas forrageiras ao agrossistema, além disso é bastante importante para persistência após o corte ou pastejo. Neste sentido, o perfilhamento é afetado por diversos elementos ambientais, como temperatura, fertilidade do solo e umidade do solo (LECARPENTIER et al., 2019; YU et al., 2020). E em virtude disso, cada planta forrageira tem sua particularidade em relação a esses aspectos ambientais, que influenciam na dinâmica do perfilhamento, assim como cada planta forrageira tem sua própria característica morfológica. Dessa forma, já era esperado a superioridade do capim buffel ao capim corrente em relação ao número de perfilhos. Isto se justifica pois o capim corrente tem maior comprimento de perfilho, com isso tendem a ser mais pesados por terem perfilhos de tamanho mais elevado, logo apresentam menor população de perfilhos(ZARROUGH; NELSON, 1980).

O sistema agroflorestal é um ambiente em que ocorre uma ampla interação biofísica entre pastagens, cultura e as árvores. Sendo assim, essas interações geram competição por recursos vitais (água, luz e elementos minerais) ao desenvolvimento da planta (DUFOUR et al., 2013). O capim buffel mostrou-se resiliente a competição nos sistemas milho, feijão e algodão, porém a inferioridade do capim buffel no sistema caatinga, pode ser justificado pela ausência das culturas fornecedoras de nutrientes e pela maior eficiência das árvores em extrair nutrientes(DEISS et al., 2017). O capim corrente por sua vez, obteve um menor perfilhamento no sistema milho, podendo ser em virtude da competição que houve nesse sistema, uma vez que o milho é uma gramínea exigente em nutrientes e eficiente no uso da água, quanto pela presença das árvores nativas(LIU; JIA; YU, 2020). Outro aspecto a ser levado em conta é fato do milho alcançar um porte maior que o capim corrente, proporcionando sombreamento ao mesmo. Neste sentido, o perfilhamento reduzido nas copas sombreadas, mostram a priorização da alocação de fotoassimilados aos perfilhos existentes, visando aumentar a absorção de radiação (CRUZ et al., 2021).

4.2 Folhas expandidas e em expansão

As folhas expandidas e folhas em expansão, representam as folhas vivas que estão no perfilho, onde as suas quantidades podem variar conforme o ambiente, apesar de serem determinadas geneticamente (SANTOS et al., 2014). Os resultados encontrados reforçam esta ideia. O sistema milho proporcionou, proporcionou menores quantidades de folhas expandidas no capim buffel, isso pode ser justificado pela maior competição por nutrientes e luz que houve nesse sistema, já que o milho é uma gramínea de grande exigência por esses recursos (LIU; JIA; YU, 2020). Já o capim corrente mostrou-se mais resiliente a competição aos sistemas, onde não alterou a quantidade de folhas expandidas e em expansão, mesmo em sistemas agroflorestais distintos.

A quantidade de folhas expandidas e em expansão, ou seja, o ciclo de surgimento das folhas, é uma característica intrínseca de cada espécie de planta forrageira. Os resultados encontrados corroboram com isso, uma vez que o capim corrente foi inferior ao capim buffel, onde o dossel do capim corrente normalmente contém menores quantidades de folhas, e isto reflete no potencial de perfilhamento (COSTA; GIANLUPPI; MORAES, 2012). Em uma planta forrageira, é desejável que haja um expressivo número de folhas expandidas pois são elas que realizam fotossíntese com intensidade máxima, fazendo com que os fotoassimilados por elas formados sirvam para manutenção da planta, como no atendimento às necessidades do meristema apical, do sistema radicular e das folhas em expansão. As folha em expansão por sua vez, apesar de realizar fotossíntese, os seus assimilados servem apenas para o próprio desenvolvimento (ZELITCH, 1982).

4.3 Folhas senescentes

A senescência da folha é o último estágio do desenvolvimento foliar, na qual é um processo degenerativo com o intuito de permitir a reprodução e a sobrevivência das plantas, onde após o processo de senescência ocorre a redistribuição de nutrientes para órgãos em desenvolvimento (WOO; MASCLAUX-DAUBRESSE; LIM, 2018). Dado que a senescência em plantas é um processo altamente dinâmico e envolve os fatores endógenos e ambientais, observa-se que os sistemas agroflorestais não influenciaram na senescência das folhas de nenhuma gramínea estudada, sugerindo que a senescência ocorre de forma espontânea de acordo com o vencimento da duração de vida da folha. É importante salientar que em gramíneas, com o aparecimento de novas folhas e

perfilhos, aumenta-se a competição por luz, nutrientes e água, nisso é intensificado o processo de senescência e morte das folhas mais velhas (OLIVEIRA et al., 2000).

Comprimento de perfilho e altura da planta

Nesta pesquisa, o comportamento dos dois capins em relação ao comprimento do perfilho e altura da planta, mostrou-se inverso ao número de perfilhos. A superioridade do capim corrente está atrelada a sua própria característica e hábito de crescimento (estolonífero). Espécies de plantas forrageiras que apresentam este tipo de hábito de crescimento, tendem a alongar mais o colmo, perfilhar menos e emitir menos folhas, com relação a outras plantas forrageiras (ZARROUGH; NELSON, 1980).

Segundo Charbonnier et al. (2013), a competição por luz é uma das características que está bastante atrelada ao sistema agroflorestal. Neste sentido, o comprimento do perfilho e altura da planta são dois aspectos estruturais das gramíneas forrageiras que são fortemente influenciados por este tipo de competição. Normalmente ocorre um aumento expressivo dessas variáveis em situação de sombreamento (MARTUSCELLO et al., 2017). Neste sentido, os altos valores de comprimento de perfilho do capim corrente, encontrados nos sistemas caatinga, feijão e algodão é um indicativo de que é uma resposta ao sombreamento, a fim de interceptar maior quantidade de radiação solar (GOBBI et al., 2009). Porém o menor valor encontrado no sistema milho, pode ser um indicativo que o capim corrente competiu igualmente com o milho por luz. Dessa forma esses resultados confirmam que as diversas plantas forrageiras possuem resiliência no sentido de se adaptarem aos diferentes sistemas de produção. Uma dessas adaptações está na mudança de sua arquitetura no intuito de interceptar maior quantidade de radiação solar (GOBBI et al., 2009).

4.4 Comprimento da lâmina expandida e em expansão

Os resultados encontrados para essas variáveis, demonstram que os sistemas milho, caatinga e algodão proporcionaram ao capim buffel mudanças na sua estrutura foliar. Porque estes sistemas apresentaram os maiores comprimentos de lâminas foliares. Tal fato pode ser justificado pelo sombreamento imposto nesses sistemas, sendo que uma das estruturas morfológicas que são afetadas pelo sombreamento de algumas plantas forrageiras é a lâmina foliar, onde ocorre um alongamento da mesma na tentativa de aumentar a área foliar e maximizar a captação de luz (CRUZ et al.,

2021). Entretanto, no sistema feijão houve menores comprimentos de lâminas foliares, supõe-se que houve menor competição por luz, devido a cultivar de feijão utilizada ser de crescimento indeterminado e geralmente as touceiras analisadas não eram afetadas significativamente pelo sombreamento do feijão.

4.5 Índice de área foliar (IAF)

Os menores valores de IAF nos sistemas caatinga, feijão e algodão do capim corrente em relação ao capim buffel, pode ser justificado pela própria característica da planta em perfilhar menos, devido aos maiores comprimentos e um maior peso de perfilho, uma vez que o IAF é produto da população de perfilhos (GOBBI et al., 2009). Porém, no sistema milho, o valor de IAF do capim corrente semelhante ao capim buffel, pode ser justificado pelo tamanho do dossel do capim corrente obtido nesse sistema, fazendo com que elevasse o índice de área foliar.

O índice de área foliar do capim buffel nos sistemas agroflorestais não apresentaram diferenças. E isto se deve pelo maior perfilhamento (milho, feijão e algodão) ou pelo maior valor de lâmina foliar ou maiores comprimentos de lâmina expandida, para compensar o perfilhamento e diante dessas situações os valores de IAF não foram alterados (PACIULLO et al., 2008).

4.6 Produção de matéria natural e matéria seca

A avaliação da massa de forragem, assim como a produtividade das forrageiras é fundamental para qualquer sistema de produção, pois auxilia nas tomadas de decisões no manejo do pasto, permitindo as forrageiras maior persistência, perenidade e qualidade. Uma vez que essas informações, auxiliam no ajuste nas taxas de lotação, consumo de forragem e taxa de acúmulo de forragem (ARRUDA et al., 2011; BRETAS et al., 2021). A produção de biomassa e a produtividade de plantas é resultante da interação entre os atributos genéticos e o ambiente, onde, este último, pode alterar os processos fisiológicos e as características morfológicas que determinam a produtividade. A partir dos resultados encontrados neste estudo, observa-se que ambas as plantas forrageiras conseguem ter uma boa produção e produtividade em sistemas agroflorestais que integram culturas anuais e a vegetação arbórea-arbustiva da Caatinga. A significância estatística entre os capins, já era algo esperado e justificado pela característica íntiseca das espécies, onde o capim buffel apresenta maior potencial de perfilhamento, maior emissão de folhas, tornando-o mais produtivo.. Esse

comportamento também foi observado nas variáveis morfogênicas. Os dados de produção de matéria natural do capim buffel encontrados nessa pesquisa, em média de 9.111,88, estão dentro da mesma faixa observada em diversos relatos da literatura utilizando-se o sistema tradicional de cultivo (monocultivo), entre 8.000 e 12.000 kg.ha⁻¹ (MARTINS, 2013). Já em relação a massa de forragem verde do capim buffel, observa-se que está abaixo dos dados encontrados na literatura, como os de Moreira et al. (2007) que avaliando o potencial de produção do capim buffel na época seca no semiárido pernambucano observaram uma produtividade média de aproximadamente 5000 kg de MS.ha⁻¹. Semelhante ao capim buffel, o capim corrente obteve médias bem abaixo do potencial produtivo de produção de matéria seca desta forrageira, que de acordo com Oliveira (1999) essa forrageira produz em torno de 3154 kg.ha⁻¹. Os dados de produtividade inferior aos encontrados na literatura já era esperado, uma vez que ocorre uma diminuição de produtividade quando a gramínea está em um sistema integrado de produção, onde há uma grande competição por água, nutrientes e luz, sendo que isso afeta diretamente a produtividade (PÉREZ-MARIN et al., 2007; MARTINS et al., 2013). Outro aspecto a ser levado em consideração é o sombreamento das forrageiras em decorrência da presença de árvores e arbustos, em que pode prejudicar o seu desenvolvimento, já que dificulta a chegada e interceptação da luz na área foliar, diminuindo a capacidade fotossintética e, logo a produtividade (GOMEZ et al., 2013; PACIULLO et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2019; CRUZ et al., 2021). Portanto, a produtividade das plantas forrageiras é muito variável e está associada à maior ou menor adaptação às condições edafoclimáticas do agroecossistema, bem como a adaptação ao sistema de produção empregado (MARTINS et al., 2013).

Variáveis morfogênicas

A ausência de significância dos diferentes sistemas agroflorestais para as variáveis morfogênicas (taxa de aparecimento foliar, filocrono, taxa de alongamento foliar e do colmo), mostraram que o capim buffel e capim corrente podem ser implementados em um sistema agroflorestal, com culturas agrícolas (algodão, feijão e milho) e plantas nativas da Caatinga sem prejudicar o desenvolvimento dessas forrageiras. Assim, observa-se a importância da utilização de plantas forrageiras, integradas com cultivos anuais, que após a colheita das culturas, tem-se o pasto formado, para ser utilizado e aproveitados pelos produtores. Com isso, confirma a viabilidade do sistema agroflorestal no bioma Caatinga, em que além de permitir uma maior

maximização do uso da terra, faz com que haja uma maior conservação do bioma, já que áreas nativas serão minimamente impactadas. É importante salientar que às condições meteorológicas durante o período de estudo foram ideais ao crescimento das gramíneas, mesmo sendo conduzidas em regime de sequeiro. Durante o período do experimento a precipitação acumulada, temperatura e umidade média foram de 391 mm, 25,68°C e 63,29%, respectivamente. As forrageiras estudadas tem um ótimo desenvolvimento em locais com precipitações a partir de 250 mm e temperaturas médias de 25°C (MARSHALL; LEWIS; OSTENDORF, 2012).

A taxa de aparecimento foliar é a principal característica morfogênica de plantas forrageiras, pois atua diretamente em alguns componentes estruturais da pastagem, como densidade populacional de perfilhos. Para cada nova folha, uma gema é formada com potencial para desenvolver um novo perfilho (GASTAL; LEMAIRE, 2015). Esta variável é bastante influenciada pela taxa de alongamento foliar. Desta forma, alterações nesse fator influenciam diretamente na taxa de aparecimento de folha (SALES et al., 2014). Assim, um dos motivos para a não significância desta variável para ambas as forrageiras neste estudo, se deve ao efeito não significativo da taxa de alongamento foliar.

O filocrono representa o tempo necessário de surgimento entre duas folhas sucessivas em um perfilho. Os resultados encontrados para esta variável, apesar de não significativos, observou-se que em alguns sistemas agroflorestais obteve-se diferenças numéricas expressivas para esta variável, como no caso do sistema “capim corrente/buffel + feijão + vegetação da Caatinga” em que proporcionou ao capim buffel um maior filocrono, e no capim corrente que obteve um maior tempo no sistema “capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga”. Assim, essas diferenças expressivas representam uma maior competição por recursos naturais que houve entre as forrageiras e estas culturas agrícolas. Segundo Costa et al. (2013), quanto menor o filocrono, a interceptação solar e a conversão de energia luminosa em tecido foliar da gramínea é mais eficiente. O filocrono aumenta a medida que a planta fica mais madura, devido ao maior tempo para a folha percorrer a distância entre o meristema apical e a extremidade do pseudocolmo formado pelas bainhas das folhas mais velhas(COSTA et al., 2013).

Os resultados encontrados para as taxas de alongamento foliar e do colmo neste estudo, apesar de não significativos, confirmam a ideia que, apesar de ter natureza genética, às condições ambientais podem proporcionar alterações nesta variável. Plantas sombreadas, quando adaptadas ao sistema apresentam uma estratégia comum de

compensar a redução da radiação fotossinteticamente ativa aumentando o alongamento da folha e do caule, assim com a altura do dossel (CRUZ et al., 2021). As variáveis taxa de alongamento foliar e do colmo são estimadores adequados do vigor de plantas forrageiras, principalmente a taxa de alongamento foliar, uma vez que determina, juntamente com a taxa de aparecimento foliar, o tamanho da superfície fotossintetizante (dossel). E isto ocorre de duas formas: de forma direta por meio de sua influência no comprimento final das folhas, e de forma indireta, pelo efeito sobre a densidade populacional de perfilhos. Dessa maneira, a taxa de alongamento foliar é uma variável morfogênica que impacta diretamente na produção de forragem. (COSTA et al., 2013; GASTAL; LEMAIRE, 2015).

Define-se morfogênese como a dinâmica de expansão e geração e dos órgãos da planta no espaço e no tempo. É uma ferramenta de grande importância para a avaliação do desenvolvimento e estabelecimento das plantas forrageiras, além disso é utilizada para avaliar as respostas das plantas forrageiras aos mais diversos manejos e condições ambientais (BRAZ et al., 2017). Neste sentido, os resultados encontrados neste estudo, por meio das variáveis morfogênicas, notou-se que ambas as plantas forrageiras mostraram-se adaptadas ao ambiente de agrofloresta no bioma Caatinga, apesar da significância de algumas variáveis estruturais (tabela 3). Ou seja, a presença das plantas nativas da Caatinga e das culturas agrícolas no mesmo espaço não atrapalharam a dinâmica de crescimento de ambas as forrageiras.

O sistema agroflorestal é um ambiente que é caracterizado pela competição por luz, nisso, o potencial de produção de pastagens pode às vezes ser limitado pelo efeito dos níveis de sombra impostos pela presença de árvores e também pelas culturas agrícolas (CHARBONNIER et al., 2013; PACIULLO et al., 2016). Segundo Paciullo et al. (2016) a tolerância da gramínea à sombra depende da habilidade da planta em se adaptar, morfológica e fisiologicamente, a um determinado nível de irradiância. Neste sentido, ambas as plantas forrageiras mostraram-se tolerantes ao sombreamento que havia no local. Sob sombra moderada, as gramíneas podem continuar a crescer em níveis considerados satisfatórios, além disso, há relatos na literatura que o sombreamento moderado no ambiente agroflorestal pode trazer benefícios as gramíneas, dentre eles relacionado a umidade do solo, em que o teor de umidade é reduzido mais lentamente à sombra do que em condições normais à pleno sol, favorecendo a atividade microbiana na serapilheira, permitindo uma maior mineralização e disponibilidade de nitrogênio no solo (PACIULLO et al., 2016).

5 CONCLUSÕES

Ambos os capins adaptam-se bem no sistema agroflorestal na Caatinga, integrado com as culturas feijão, milho e algodão. No entanto, a forrageira mais recomendada é o capim buffel por apresentar maior produção massa de forragem verde massa de forragem seca nos períodos de chuva no semiárido, em média 9.112 kg.ha-1 e 3340 kg.kg-1 para massa de forragem verde e seca, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ARRUDA, D. S. R. et al. Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 2004–2009, nov. 2011.

BRAZ, T. G. S.; MARTUSCELLO, J. A.; SANTOS, M. E. R.; PEREIRA V. V. Partial correlation analysis in the study of morphogenesis and herbage accumulation in *Panicum maximum* cv. 'Tanzânia'. **Ciência Rural**, v. 47, n. 9, 3 ago. 2017.

BRETAS, I. L. et al. Prediction of aboveground biomass and dry-matter content in Brachiaria pastures by combining meteorological data and satellite imagery. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 340–352, 1 set. 2021.

CARRERE, P.; LOUAULT, F.; SOUSSANA, J. F. Tissue Turnover Within Grass-Clover Mixed Swards Grazed by Sheep. Methodology for Calculating Growth, Senescence and Intake Fluxes. **The Journal of Applied Ecology**, v. 34, n. 2, p. 333, abr. 1997.

CHARBONNIER, F. LE MAIRE, G.; DREYER, E.; CASANOVES, F.; CHRISTINA, M.; DAUZAT, J.; EITEL, J. U. H.; VAAST, P.; VIERLING, L. A.; ROUPSARD, O. Competition for light in heterogeneous canopies: Application of MAESTRA to a coffee (*coffea arabica* l.) agroforestry system. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 181, p. 152–169, 15 nov. 2013.

COSTA, N. L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A. DE. MORFOGÊNESE DE *Trachypogon vestitus* SUBMETIDO À QUEIMA, DURANTE O PERÍODO SECO, NOS CERRADOS DE RORAIMA. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 41–48, 29 mar. 2012.

COSTA, N. L.; MORAES, A. D.; CARVALHO, P. C. F. D.; MONTEIRO, A.; OLIVEIRA, R. Características morfogênicas e estruturais de *Trachypogon plumosus* de acordo com a fertilidade do solo e o nível de desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 320–328, mar. 2013.

CRUZ, P. J. R.; BORGES, C. E.; SANTOS, M. V.; MAGALHÃES, M. A.; MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; SILVA, L. D. et al. Shade effects on the hybrid Mavuno brachiariagrass (*Urochloa* spp.) as potential grass in agroforestry systems. **Agroforestry Systems** 2021 **95:6**, v. 95, n. 6, p. 1105–1108, 13 maio 2021.

DEISS, L.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; FRANZLUEBBERS, A. J.; NETO, F. S.; PONTES, L. S.; BARRO, R. S.; SZYMCZAK, L. S. Competição entre plantas daninhas e soja em sistema integrado de produção agropecuária com árvores e cultivo solteiro em semeadura direta no subtropical Brasileiro. **Planta Daninha**, v. 35, 30 out. 2017.

DUFOUR, L.; METAY, A.; TALBOT, G.; DUPRAZ, C. Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 3, p. 217–227, jun. 2013.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1146–1171, 25 nov. 2015.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; NETO, A. F. G.; PEREIRA, O. G.; VENTRELLA, M. C.; ROCHA, G. C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capimbraquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645–1654, set. 2009.

GOLD, M. A.; GARRETT, H. E. Agroforestry Nomenclature, Concepts, and Practices. **North American agroforestry: an integrated science and practice**, p. 45-56, 2009.

GÓMEZ, S., GUENNI, O., & BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *B. rachiariadecumbens* Stapf. **Grass and Forage Science**, 68(3), 395-407, 2013

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 15 de julho. 2015.

JAVANMARD, A.; MACHIANI, M. A.; LITHOURGIDIS, A.; MORSHEDLOO, M. R.; OSTADI, A. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. **Cleaner Engineering and Technology**, p. 100003, 27 out. 2020.

LECARPENTIER, C.; BARILLOT, R.; BLANC, E.; ABICHOU, M.; GOLDRINGER, I.; BARBILLON, P.; ENJALBERT, J.; ANDRIEU, B. et al. WALTER: a three-dimensional wheat model to study competition for light through the prediction of tillering dynamics. **Annals of Botany**, v. 123, n. 6, p. 961–975, 24 jun. 2019.

LIU, Z.; JIA, G.; YU, X. Water uptake and WUE of Apple tree-Corn Agroforestry in the Loess hilly region of China. **Agricultural Water Management**, v. 234, p. 106138, 1 maio 2020.

MARSHALL, V. M.; LEWIS, M. M.; OSTENDORF, B. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. **Journal of Arid Environments**, v. 78, p. 1–12, 1 mar. 2012.

MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; CUNHA, D. N. F. V.; FERREIRA P. S.; RIBEIRO, L. S.; SOUZA, M. W. MORFOGÊNESE E ESTRUTURA DO CAPIMBRAQUIÁRIA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Revista Ciência Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 33, 14 set. 2017.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, A. F.; NAGAI, M. A.. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 581–587, 2013.

NASCIMENTO, H. L. B., PEDREIRA, B. C., SOLLENBERGER, L. E., PEREIRA, D. H., MAGALHÃES, C. D. S., & CHIZZOTTI, F. H. M.. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiariabrizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. **Crop and Pasture Science**, 70(4), 384-394, 2019.

OLIVEIRA, M. C. Capim urocloa: produção e manejo no semi-árido do Nordeste do Brasil. EMBRAPA-CPATSA. **Circular Técnica**, 1999.

OLIVEIRA, M. A.; PEREIRA, O. G.; HUAMAN, C. A. M.; GARCIA, R.; GOMIDE, J. A.; CECON, P. R.; SILVEIRA, P. R. Características Morfogênicas e Estruturais do Capim-Bermuda “Tifton 85” (*Cynodon spp.*) em Diferentes Idades de Rebrotas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1939–1948, 2000.

OLIVEIRA, T. K. D.; MACEDO, R. L. G.; SANTOS, I. P. A. D.; HIGASHIKAWA, E. M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, p. 748-757, 2007.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; Carlos GOMIDE, A. M.; CASTRO, C. R. T.; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 917–923, 2008.

PACIULLO, D. S. C. GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; MAURÍCIO, R. M.; FERNANDES, P. B.; MORENZ, M. J. F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 3, p. 590–600, 1 set. 2016.

PAUDEL, B. R.; UDAWATTA, R. P.; ANDERSON, S. H. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and row-crop systems. **Applied Soil Ecology**, v. 48, n. 2, p. 125–132, 1 jun. 2011.

PÉREZ-MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C., SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.669-677, 2007.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B. et al. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, p. 104457, 2020.

SALES, E. C. J.; REIS, S. T.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; MONÇÃO, F. P.; MATOS, V. M.; PEREIRA, D. A.; AGUIAR, A. C. R.; ANTUNES, A. P. S. Características morfológicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e alturas de resíduos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2673–2684, set. 2014.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; GOMES, V. M.; CARVALHO, V. V.;

ALBINO, R. L.; MOURA, L. S. Características morfológicas e estruturais do capimbraquiária em locais do mesmo pasto com distintos graus de pastejo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1513–1521, set. 2014.

SILVA, T. G. F. PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. S. M.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C. SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015.

SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O. SILVA, J. L. B.; ALMEIDA, G. L. P.; SILVA, D. A. O.; SANTOS, A.; RODRIGUES, J. A. M.; BATISTA, P. H. D. B.; JARDIM, A. M. R. F. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100353, 1 ago. 2020.

WOO, H. R.; MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; LIM, P. O. Plant senescence: how plants know when and how to die. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 4, p. 715–718, 12 fev. 2018.

YU, H.; YANG, J.; CUI, H.; LI, Z.; JIA, F.; CHEN, J.; LI, X et al. Effects of plant density on tillering in the weed grass *Aegilops tauschii* Coss. and its phytohormonal regulation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 157, p. 70–78, 1 dez. 2020.

ZARROUGH, K. M.; NELSON, C. J. Regrowth of Genotypes of Tall Fescue Differing in Yield per Tiller1. **Crop Science**, v. 20, n. 4, p. 540–544, 1 jul. 1980.

ZELITCH, I. The Close Relationship between Net Photosynthesis and Crop Yield. **BioScience**, v. 32, n. 10, p. 796–802, nov. 1982.

CAPÍTULO 2 – USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMATIVA DE MASSA DE FORRAGEM E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM SISTEMA AGROFLORESTAL EM FLORESTA TROPICAL SAZONAL SECA (CAATINGA)

RESUMO

Avaliou-se o desempenho de três índices de vegetação (GLI, NGRDI e VARI) na estimativa da Massa Seca (MS), Massa Natural (MN) e índice de área foliar (IAF) em sistemas agroflorestais no bioma Caatinga. O experimento foi conduzido, no período de 26 fevereiro a 17 de junho de 2021, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Serra Talhada, Pernambuco. A captura das imagens da área experimental ocorreram nos dias: 03/03/2021, 10/04/2021, 13/05/2021 e 10/06/2021. As imagens coletadas no voo foram processadas em um programa de fotogrametria para geração dos ortomosaicos e posteriormente os ortomosaicos foram georreferenciados no software Qgis, em seguida foram estimados os índices de vegetação. Observou-se que as variáveis quantificadas in situ no campo apresentaram uma boa correlação com os índices de vegetação, com destaque para produção de matéria natural (MN) e índice de área foliar (IAF) que apresentaram correlação significativa positiva para todos os índices de vegetação, independentes do sistema agroflorestal adotado. Os índices de vegetação obtiveram resultados satisfatórios em todos os sistemas agroflorestais. Porém, apesar do bom desempenho, observou-se que o índice GLI obteve menores coeficientes de correlação na maioria das variáveis nos sistemas agroflorestais, exceto para o IAF do sistema milho que obteve o maior índice de correlação. Os índices VARI e NGRDI apresentaram os melhores resultados de correlação nesse estudo, em média 0,66 (VARI) e 0,65 (NGRDI), o que indica que são os índices de vegetação mais recomendados para o sistema agroflorestal no bioma Caatinga.

Palavras chaves: Correlação, RGB, sensoriamento remoto

CHAPTER 2 – USE OF VEGETATION INDEXES TO ESTIMATE FORAGE MASS AND LEAF AREA INDEX IN AGROFORESTRY SYSTEM IN DRY SEASONAL TROPICAL FOREST (CAATINGA)

ABSTRACT

The performance of three vegetation indices (GLI, NGRDI and VARI) was evaluated in the estimation of Dry Mass (MS), Natural Mass (MN) and Leaf Area Index (LAI) in agroforestry systems in the Caatinga biome. The experiment was conducted from February 26 to June 17, 2021, at the Serra Talhada Academic Unit (UAST), of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), in Serra Talhada, Pernambuco. The capture of images from the experimental area took place on: 03/03/2021, 04/10/2021, 05/13/2021 and 06/10/2021. The images collected in the flight were processed in a photogrammetry program to generate the orthomosaics and later the orthomosaics were georeferenced in the Qgis software, then the vegetation indices were estimated. It was observed that the variables quantified in situ in the field showed a good correlation with the vegetation indices, with emphasis on natural matter production (MN) and leaf area index (LAI) which showed a significant positive correlation for all vegetation indices, independent of the adopted agroforestry system. The vegetation indices obtained satisfactory results in all agroforestry systems. However, despite the good performance, it was observed that the GLI index obtained lower correlation coefficients in most variables in the agroforestry systems, except for the LAI of the corn system, which obtained the highest correlation index. The VARI and NGRDI indices showed the best correlation results in this study, on average 0.66 (VARI) and 0.65 (NGRDI), which indicates that they are the most recommended vegetation indices for the agroforestry system in the Caatinga biome.

Keywords: Correlation, RGB, remote sensing

1 INTRODUÇÃO

A determinação da massa de forragem (MF) é um aspecto de grande relevância para obtenção de sucesso e lucratividade de um sistema agroflorestal. Uma vez que o conhecimento da produção de MF em pastagens é uma ferramenta que pode auxiliar nas melhores tomadas de decisões no manejo do pasto e do pastejo, como por exemplo no ajuste das taxas de lotação, taxa de acúmulo de forragem, taxa de consumo de forragem dos animais e nos ciclos de pastejo, ou seja, o conhecimento da biomassa é essencial para a qualidade, perenidade e persistência do pasto, na qual evita-se por exemplo, que ocorra o sobrepastejo e subpastejo (ARRUDA et al., 2011; BRETAS et al., 2021). Nesse sentido, as técnicas mais utilizadas e tradicionais são trabalhosas, demoradas e requerem um grande número de amostras para representar as variações que ocorrem no sistema, além de serem baseadas em métodos destrutivos (WACHENDORF; FRICKE; MÖCKEL, 2018).

O sistema agroflorestal é caracterizado pela presença de plantas arbóreas em conjunto com outros tipos de vegetação, assim, a determinação da biomassa destas, é de grande importância para o melhor aproveitamento deste componente, principalmente em sistemas adotados em regiões semiáridas com regime de sequeiro, em que as plantas arbóreas e arbustivas nativas, participam da dieta dos animais. Nisso, a complexidade na determinação da biomassa é ainda maior, pois as metodologias para a determinação da MF em árvores são ainda mais trabalhosas em comparação com plantas herbáceas, tanto pela altura e estrutura da planta, quanto pela diversidade de espécies existentes no sistema, além disso, a ausência de métodos de avaliação mais precisos comprometem a acurácia experimental (OLIVEIRA et al., 2018). Dessa forma, o sensoriamento remoto é uma ferramenta promissora para estimativa e determinação de diversas características biofísicas e químicas em pastagens, como por exemplo a massa de forragem e índice de área foliar (GRÜNER; ASTOR; WACHENDORF, 2021). A tecnologia do sensoriamento remoto para estimativa da MF é uma ferramenta que vem ganhando cada vez mais popularidade, porém, seu uso ainda é limitado pelo seu alto custo de aquisição, principalmente pelo fato de que a estimativa da MF tem uma maior eficiência com o uso de sensores na banda do infravermelho. Então, os sensores nas faixas do visível (RGB), já disponível nos drones, apresentam uma maior viabilidade econômica (SABERION et al., 2014; TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014; RASMUSSEN et al., 2016).

Diversas pesquisas demonstram que o sensoriamento remoto é uma ferramenta eficaz na estimativa de massa de forragem e índice de área foliar (IAF). Wang et al. (2017) pesquisando o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) na modelagem de estimativa de biomassa em um ecossistema de pastagem na China, demonstraram que o uso VANTs tem um elevado potencial no fornecimento de estimativa de biomassa com precisão. Estudando a estimativa do índice de área foliar (IAF) com imagem de VANT em diferentes cultivares de arroz ao longo de toda a estação de crescimento, Gong et al. (2021), concluíram que este método de estimativa de IAF é eficiente e pode ser implementado e que apresenta um grande potencial para auxiliar estudos de melhoramento vegetal e também no manejo de campo em larga escala. Alguns estudos também apontam que o sensoriamento remoto é recurso excelente e potente para a previsão e estimativa de biomassa em plantas arbóreas e que podem ser usados de diversas maneiras na confecção e melhoria de inventários florestais (SAARELA et al., 2020; NAIK; DALPONTE; BRUZZONE, 2021). Portanto, há poucos relatos do uso do sensoriamento remoto na estimativa de massa de forragem em sistemas agroflorestais no bioma de Caatinga. Assim, nossa hipótese é que os índices de vegetação obtidos a partir de imagens capturadas de veículo aéreo não tripulado (VANT) podem estimar com precisão a massa de forragem de plantas forrageiras herbáceas (capim corrente e capim buffel) e arbóreas (nativas) no sistema agroflorestal no bioma Caatinga.

Diante do exposto, o nosso objetivo foi avaliar o desempenho de três índices de vegetação na estimativa da Massa Seca (MS), Massa Natural (MN) e índice de área foliar (IAF) do capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* Hack Dandy) e capim-buffel (*Cenchrus ciliaries* L.) e do extrato arbóreo de quatro tipos de sistemas de agroflorestais no bioma Caatinga, bem como verificar o desempenho dos mesmos na estimativa do índice de área foliar (IAF) do capim-corrente e do capim-buffel (*Cenchrus ciliaries* L.).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido, no período de 26 fevereiro a 17 de junho de 2021, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Serra Talhada, Pernambuco ($7^{\circ} 57' 41''$ S, $38^{\circ} 17' 68''$ O e 515 m) (Figura 1), na qual apresenta clima do tipo BShw', de acordo com a classificação de Köppen, onde se caracteriza como semiárido quente, e apresenta precipitação pluvial média de 642 mm ano^{-1} , temperatura média do ar de $24,8^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar aproximadamente de 62%, e demanda atmosférica acima de $1.800 \text{ mm ano}^{-1}$ (ALVARES et al., 2013; SILVA et al., 2015).

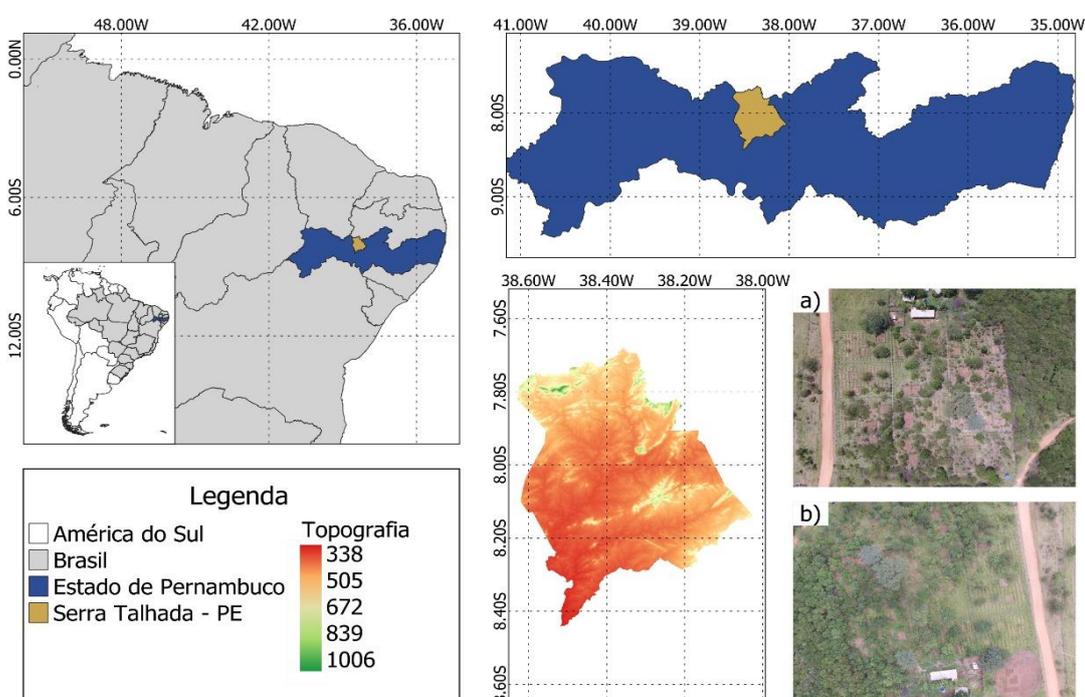


Figura 1. Localização da área de estudo, situada no município de Serra Talhada –PE, Brasil e (a) visão geral da área experimental. (AUTORES, 2022)

Os dados meteorológicos durante o período experimental foram monitorados por uma estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada dentro da unidade. De acordo com os dados de precipitação obtidos, observou-se que a precipitação acumulada do experimento foi superior a 390mm, onde o período de maior precipitação ocorreu no mês de abril, sendo superior à 126mm. A Evapotranspiração de referência (ET_o) média durante o

experimento foi de 4,11mm dia-1, com valor máximo de 6,18mm dia-1 e mínimo de 1,94mm dia-1.

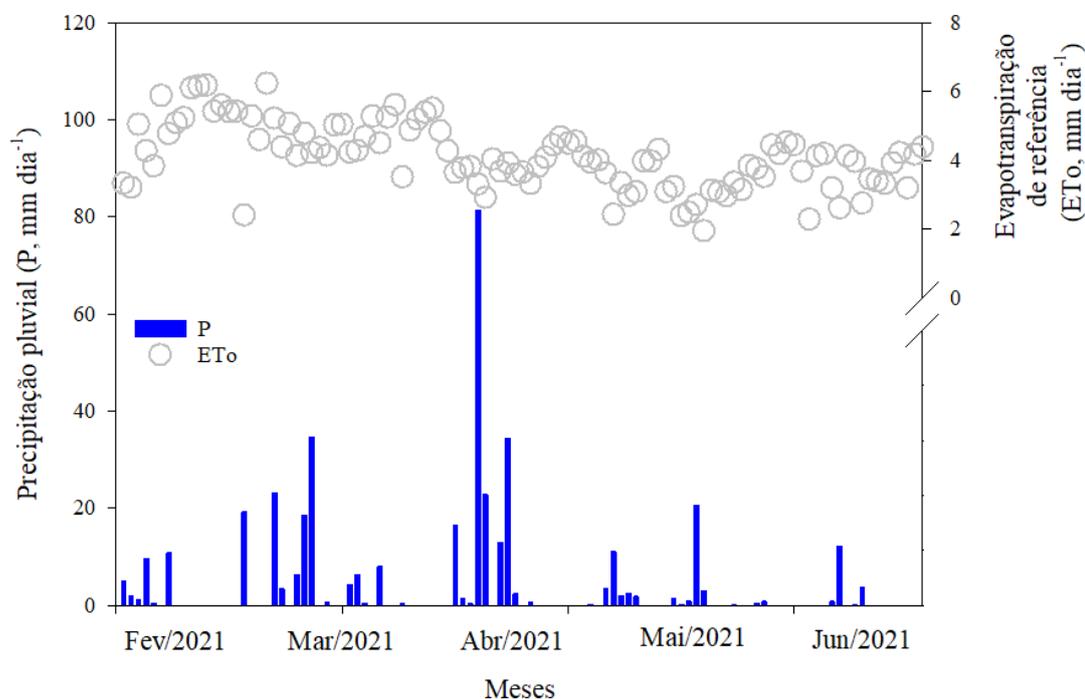


Figura 2. Precipitação pluvial (P) e Evapotranspiração de referência (ET₀), durante o período experimental de fevereiro de 2021 a junho de 2020

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico e apresenta textura franco-arenosa, eutrófico, de acidez fraca e fertilidade média a alta (NETO, 2017). A área experimental possuía 7.200 m² (90 x 80 metros) apresentando três blocos com quatro parcelas, totalizando 12 parcelas de 584 m² (20 m x 29,2 m) (Figura 3).



Figura 3. Detalhamento da área experimental

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos em regime de sequeiro. Os tratamentos consistiram em quatro sistemas agroflorestais: 1) capim corrente e capim buffel + feijão + vegetação da Caatinga; 2) capim corrente e capim buffel + algodão + vegetação da Caatinga; 3) capim corrente e capim buffel + milho + vegetação da Caatinga; 4) capim corrente e capim buffel + vegetação da Caatinga.

2.2 Coleta de dados de campo da produção de massa de forragem (matéria natural e matéria seca) e índice de área foliar

Para a determinação da produção de matéria natural e produção de matéria seca dos capins foram colhidas 3 amostras representativas em cada parcela, em uma área de $0,25\text{m}^2$ ($0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$) (Figura 4). A partir do qual foram pesadas, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados. Para a determinação da matéria seca, foi realizado a secagem das amostras de matéria natural em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72h. Além disso, as amostras de forragem foram separadas manualmente nas frações lâmina foliares e colmo (colmo + bainhas foliares).



Figura 4. Área de 0,25m² para determinação da produção de matéria natural e matéria seca.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado utilizando-se o sensor portátil ceptômetro (AccuPAR LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA), que se baseia na interceptação luminosa para estimativa do IAF. Para tanto, foram realizadas cinco medidas das plantas forrageiras (capim buffel e corrente) na área útil de cada parcela a 0,10 m da superfície do solo, evitando-se a interferência do material morto (Figura 5).



Figura 5. Uso do ceptômetro para determinação do IAF

2.3 Aquisição de imagens e estimativa dos índices de vegetação

As imagens foram obtidas a partir de um veículo aéreo não tripulado (VANT) DJI modelo Phantom 3 advanced, equipado por uma câmera com as seguintes especificações: 1/2.3” CMOS, Píxeis efetivos: 12.4 M (total pixels: 12.76 M), sendo este posicionado a uma altura de aproximadamente 100m acima do solo, com a finalidade de compreender toda a dimensão da área de estudo e realizando uma foto única de todo o local.

A captura das imagens da área experimental ocorreram nos dias: 03/03/2021, 10/04/2021, 13/05/2021 e 10/06/2021, entre às 10h e 14h com condições de iluminação consistentes, dias claros e ensolarados, evitando-se dias com nuvens que se movam para dentro ou para fora da área imageada, impedindo a projeção das suas sombras no solo. A sobreposição das imagens foram de 70% de lateral e 80% de frontal (ARANTES et al., 2020). A determinação do posicionamento geográfico de cada imagem foi realizada com um sistema de posicionamento global GPS/Glonass.

A partir das imagens coletadas no voo, foram processadas em um programa de fotogrametria para geração dos ortomosaicos. Esta criação consiste na junção das imagens individuais em uma única, sendo realizada no programa de software de código aberto (WebODM, 2021).

Posteriormente, os ortomosaicos que foram obtidos pelo sensor RGB à bordo do drone foram georreferenciados a partir de cinco pontos distribuídos na área, em um software de sistema de informações geográficos Qgis versão da série 3.0. Em seguida, foi feito o processamento das imagens no ambiente R, utilizando a interface do Rstudio, e o pacote Raster (HIJMANS; ETTEN, 2012). Em seguida, foram estimados os índices de vegetação apresentados por Freire-Silva et al. (2019) e Swaef et al. (2021) conforme a tabela 1.

Tabela 1. Índices de vegetação e as respectivas equações de uso.

NOME	ABREVIATURA	EQUAÇÃO	AUTOR
NORMALIZED GREEN RED DIFFERENCE IN DEX	NGRDI	$(Rg^{(1)} - Rr^{(2)})/(Rg + Rr)$	Tucker (1979)
GREEN LEAF INDEX	GLI	$(2 \cdot Rg - Rr - Rb^{(3)})/(2 \cdot Rg + Rr + Rb)$	Louhaichi, Borman e Johnson (2001)
VISIBLE ATMOSPHERICALLY RESISTENT INDEX	VARI	$(Rg - Rr)/(Rg + Rr - Rb)$	Gitelson <i>et al.</i> (2002)

Rg: Banda do Verde; Rr: Banda do Vermelho; Rb: Banda do Azul.

2.4 Delineamento e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições e quatro tratamentos, consistindo em quatro parcelas por bloco, totalizando 12 parcelas.

Foram extraídos as médias e desvio-padrão dos pixels nas áreas de coletas das informações de campo, por meio de uma estatística zonal, para cada parcela experimental. Com os resultados dos índices de vegetação do visível (RGB) foram realizadas análise de correlação dos índices com as medidas obtidas in situ da Massa Seca (MS), Massa Natural (MN) e índice de área foliar (IAF), com significância ao nível de 5% para verificar o desempenho dos índices de vegetação do RGB. Para a análise de correlação utilizou-se as médias das parcelas experimentais dos índices de vegetação e das variáveis medidas em campo (MN, MS e IAF), por meio do método de Pearson em ambiente de R (R CORE TEAM, 2019), sendo desenvolvido e visualizado através dos pacotes Metan (OLIVOTO; LÚCIO, 2020) e Psych (REVELLE, 2021).

2.5 Análise estatística descritiva dos dados

Os dados referentes à análise estatística descritiva do NGRDI, GLI, VARI MN, MS e IAF, podem ser observados nos valores da média, desvio padrão, mínimo e máximo (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva para NGRDI, GLI, VARI MN, MS e IAF.

Sistemas agroflorestais	Variável	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Algodão	NGRDI	-0,0054	0,0434	0,0701	-0,0689
	GLI	0,0317	0,0383	0,0981	-0,0303
	VARI	-0,0144	0,0781	0,1164	-0,1311
	MN	22286,29	8890,02	32650,67	5994,13
	MS	7413,57	3431,60	12007,62	1583,72
	IAF	1,47	0,735	2,55	0,302
Caatinga	NGRDI	0,0002	0,037	0,058	-0,052
	GLI	0,041	0,036	0,094	-0,0085
	VARI	-0,0043	0,066	0,096	-0,101
	MN	19481,94	7661,88	33775,73	6985,60
	MS	6667,67	3037,70	12568,19	2440,72
	IAF	1,43	0,5781	2,25	0,50
Feijão	NGRDI	-0,005	0,043	0,055	-0,080
	GLI	0,034	0,040	0,093	-0,030
	VARI	-0,013	0,077	0,090	-0,153
	MN	17841,52	7572,50	31284,93	6298,80
	MS	6934,05	4631,67	19795,12	2345,51
	IAF	1,55	0,83	2,88	0,314
Milho	NGRDI	-0,0046	0,035	0,055	-0,053
	GLI	0,035	0,033	0,094	-0,015
	VARI	-0,012	0,063	0,092	-0,100
	MN	23501,66	10824,25	38802,67	5371,47
	MS	7849,05	3703,89	14414,41	1910,15
	IAF	1,55	0,91	3,56	0,35

3 RESULTADOS

3.1 Variabilidade espacial evidenciado pelos índice NGRDI, GLI e VARI

A variabilidade espacial dos índices de vegetação com suas respectivas classes para as quatro datas de amostragem são ilustradas nas Figuras 6, 7, e 8. Observa-se que as coletas obtidas nos meses de maio e junho em todos os índices de vegetação ocorreu uma maior prevalência de tons verdes. Observou-se também que o índice VARI obteve uma maior sensibilidade, no qual observou-se uma variabilidade maior dos tons verde e laranja.

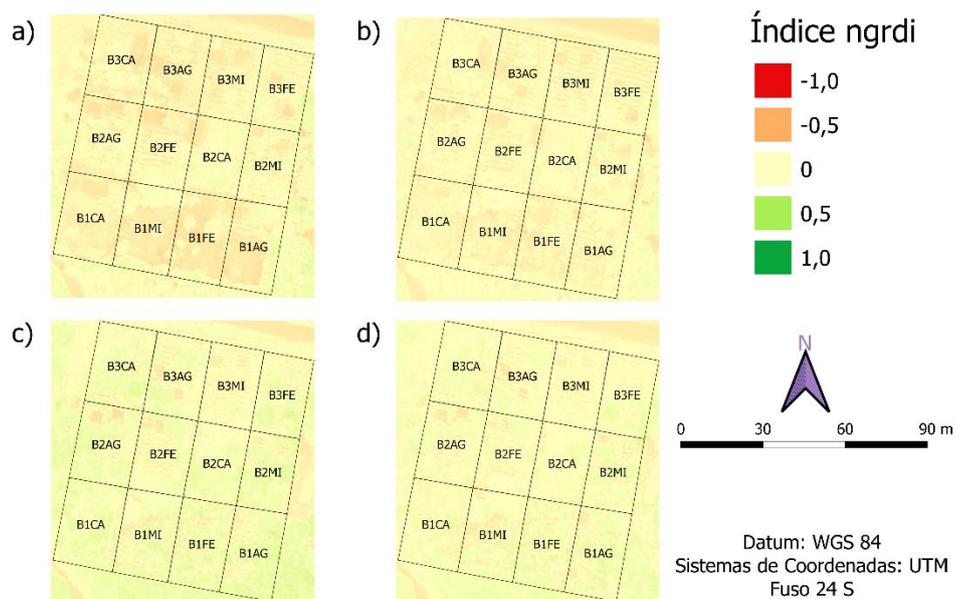


Figura 6. Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice NGRDI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/2021, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021. B1 – Bloco1; B2 – Bloco 2; B3 – Bloco 3; CA – Caatinga; AG – Algodão; MI – Milho; FE – Feijão.

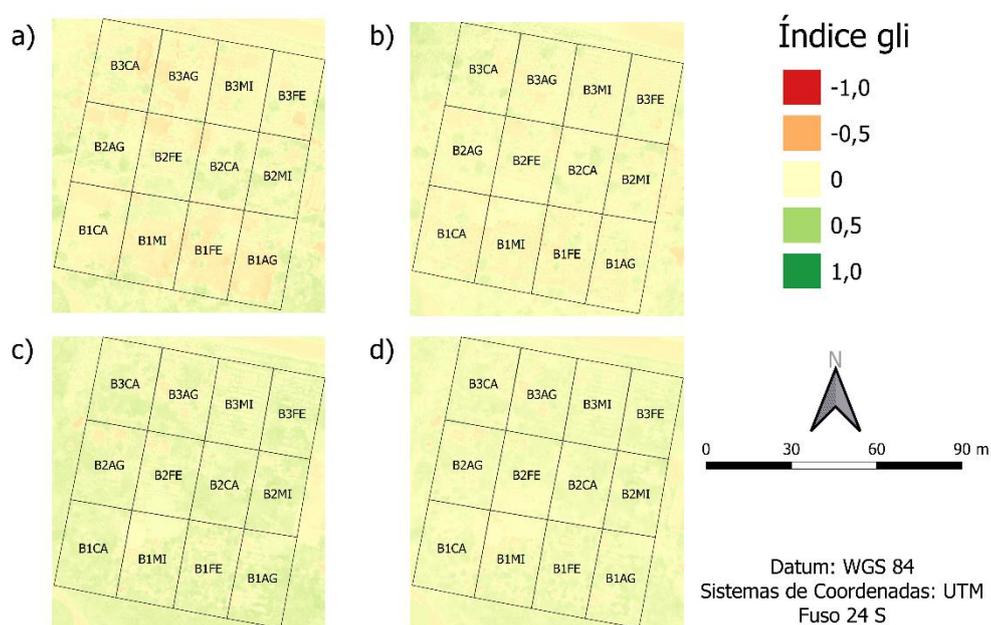


Figura 7. Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice GLI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/2021, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021. B1 – Bloco1; B2 – Bloco 2; B3 – Bloco 3; CA – Caatinga; AG – Algodão; MI – Milho; FE – Feijão.

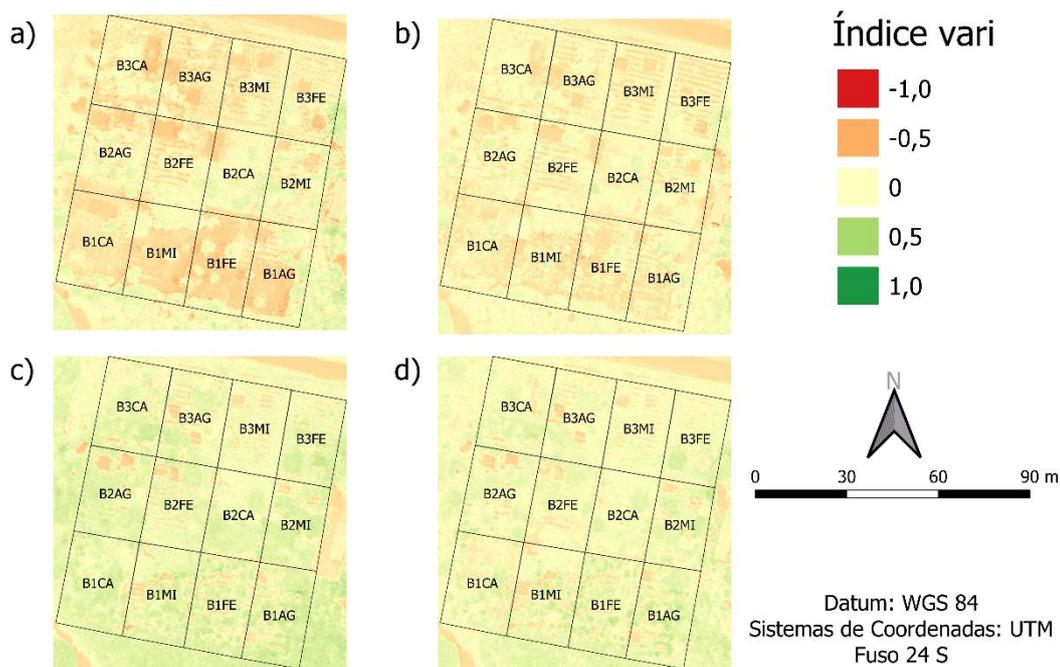


Figura 8. Variabilidade espacial da área de agroflorestal na Caatinga evidenciado pelo índice VARI: (a) 03/03/2021, (b) 10/04/202, (c) 13/05/2021 e (d) 10/06/2021. B1 – Bloco1; B2 – Bloco 2; B3 – Bloco 3; CA – Caatinga; AG – Algodão; MI – Milho; FE – Feijão.

3.2 Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e das variáveis produção de matéria natural (MN), produção de matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF)

De maneira geral, foi possível observar que as variáveis quantificadas *in situ* no campo apresentaram uma boa correlação com os índices de vegetação, com destaque para produção de matéria natural (MN) e índice de área foliar (IAF) que apresentaram correlação significativa positiva para todos os índices de vegetação, independentes do sistema agroflorestal adotado.

Observou-se no sistema agroflorestal contendo apenas os capins e a vegetação da Caatinga (Figura 9), os índices NGRDI e VARI apresentaram desempenho satisfatórios na estimativa de todas as variáveis quantificadas no campo (produção de matéria natural, produção de matéria seca e índice de área foliar), indicando forte correlação positiva e significativa com valores semelhantes. Enquanto o índice GLI neste sistema apresentou resultado satisfatório apenas para produção de matéria natural, não obtendo significância ($P < 0,05$) nas outras duas variáveis quantificadas em campo (produção de matéria seca e índice de área foliar).

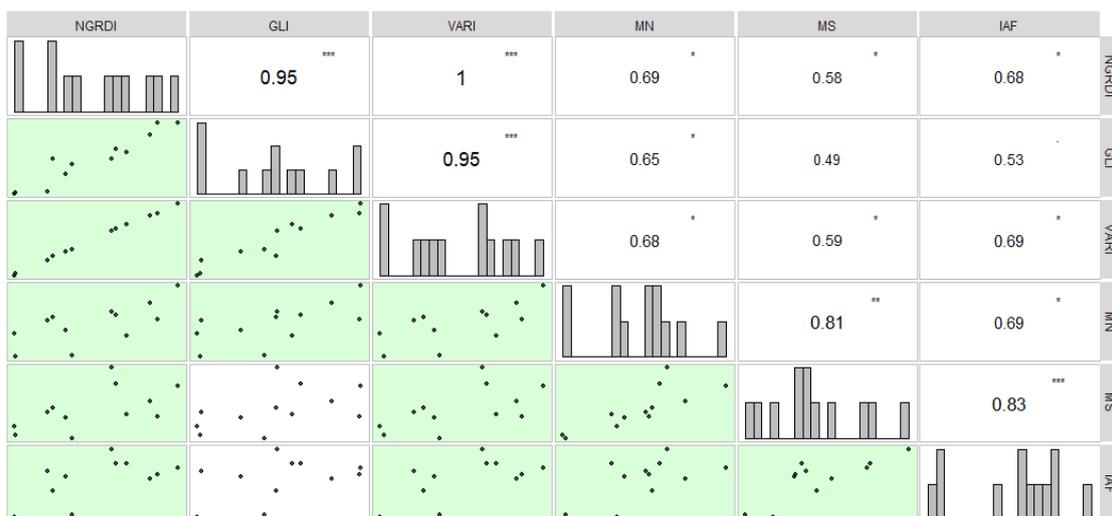


Figura 9. Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e das variáveis produção matéria natural (MN), produção matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + vegetação da Caatinga.

No sistema agroflorestal utilizando o feijão (Figura 10), observou-se que todos os índices de vegetação avaliados, apresentaram forte correlação com a produção matéria natural e índice de área foliar, ao contrário da produção de matéria seca, em que foi possível observar que todos os índices avaliados apresentaram correlação fraca e não significativa ($P < 0,05$).

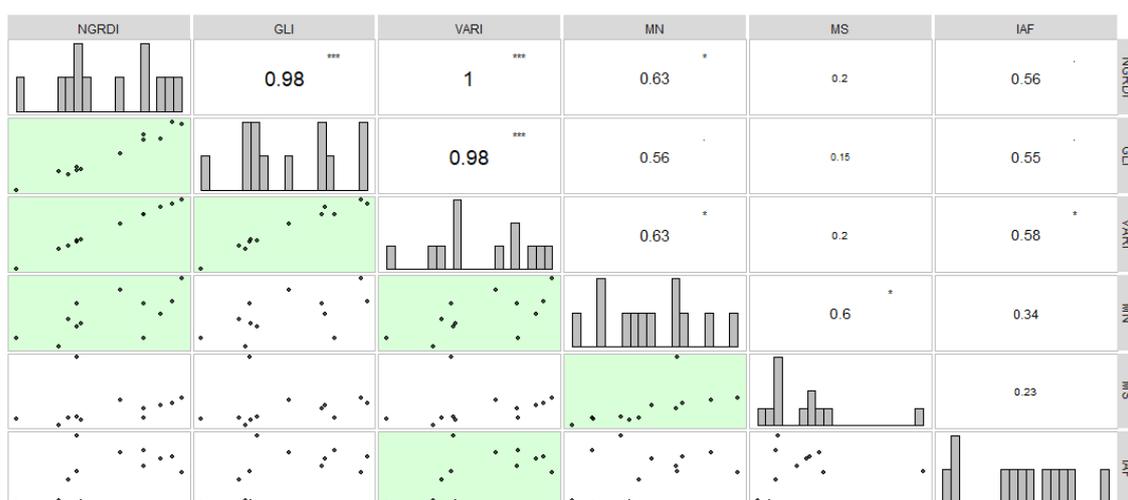


Figura 10. Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e as variáveis produção matéria natural (MN), produção matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga.

Nos sistemas agroflorestais com milho (Figura 11) e algodão (Figura 12), todos os índices de vegetação foram bastantes precisos na estimativas da produção matéria natural, produção matéria seca e índice de área foliar, em que, além de observar significância em todas as correlações, observou-se que foi nesses dois sistemas que se obtiveram os coeficientes mais altos dos índices.

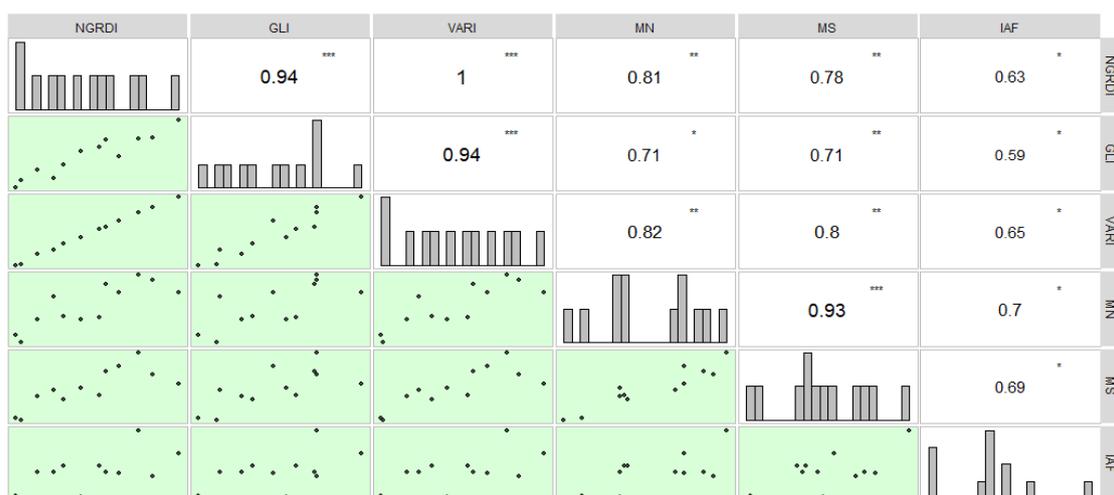


Figura 11. Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e as variáveis produção matéria natural (MN), produção matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente/buffel + milho + vegetação da Caatinga.



Figura 12. Correlação entre os índices de vegetação NGRDI, GLI E VARI e as variáveis produção matéria natural (MN), produção matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF) no sistema agroflorestal capim corrente e capim buffel + algodão + vegetação da Caatinga.

4 DISCUSSÃO

Os índices de vegetação obtiveram resultados bastantes satisfatórios em todos os sistemas agroflorestais. Porém, apesar do bom desempenho, observou-se que o índice GLI obteve os menores coeficientes de correlação na maioria das variáveis (MN, MS e IAF) em todos os sistemas agroflorestais, exceto para o IAF do sistema milho que obteve o maior índice de correlação. Os estudos de Bending et al. (2015), Bareth et al. (2016) e Lussem et al. (2018) identificaram um desempenho menor do GLI como estimador de biomassa em relação a outros IVs do visível. Interferências de manchas de solo descoberto que haviam na área, tanto por questões naturais e preparo da área para o cultivo das culturas (feijão, algodão e milho) podem ter contribuído para o menor desempenho do GLI. Uma vez que este índice de vegetação tem uma grande sensibilidade à vegetação verde e menor sensibilidade a outros espectros. Esta característica se confirma pela fórmula do índice, onde a banda espectral verde tem peso 2 em relação às bandas azul e vermelha (HUNT et al., 2013; ANDRADE et al., 2019). A clorofila nas folhas e caules das plantas absorve luz vermelha (aproximadamente 0,67 μm) e luz azul (em torno de 0,45 μm) e reflete a luz verde (em torno de 0,55 μm), com isso, o número da imagem digital verde em imagens RGB é maior do que vermelho ou azul (LOUHAICHI et al., 2001; BENDIG et al., 2015; HAN et al., 2021).

Os índices VARI e NGRDI apresentaram os melhores resultados de correlação nesse estudo, o que indica que são os índices de vegetação mais recomendáveis para serem adotados no sistema agroflorestal no bioma Caatinga. Observou-se que na maioria das variáveis, ambos os índices obtiveram desempenho semelhantes. Lussem et al. (2018) avaliando os índices de vegetação baseados em RGB de imagens de UAV para estimativa do rendimento de forragem em pastagem, encontraram semelhança de desempenho entre o VARI e NGRDI. O bom desempenho do VARI no sistema agroflorestal, se deve principalmente a capacidade de resistir às interferências atmosféricas e estimar, com alta precisão a fração de vegetação, ou seja, o índice de resistência atmosférica visível (VARI) surgiu com a proposta de enfatizar a vegetação na porção visível do espectro no mesmo tempo que mitiga as diferenças de iluminação e os efeitos atmosféricos (JHENSEN, 2011). Segundo Jhensen (2011), diversos fatores impactam as análises no sensoriamento remoto nos ambientes agrícolas, como as diferenças existentes no estágio e ciclo fenológico de plantas e também os fatores

ambientais (condições climáticas, variações dos solos, disponibilidade de água e nutrientes), que levam a mudanças no comportamento espectral.

O NGRDI é um índice que se assemelha bastante com o VARI, diferenciando-se apenas pela ausência da subtração da banda azul (R_b) no denominador da sua fórmula (tabela 1). Em sua fórmula, observa-se que a diferença entre os números digitais verdes e vermelhos (numerador) diferencia plantas e solo, e a soma (denominador) normaliza para variações na intensidade da luz entre diferentes imagens (HUNT et al., 2005). Portanto, este índice se caracteriza pela ótima capacidade de diferenciar bem os espectros da vegetação e do solo, ou seja, a reflectância verde e vermelha, característica intrínseca também do VARI.

O índice de vegetação (IV) é uma ferramenta bastante simples para estimar diversas variáveis produtivas em sistemas agrícolas utilizando imagens digitais. Porém, os mais variados IVs tem as suas particularidades, principalmente no que se diz respeito as combinações de bandas e as diferentes fórmulas, com isso, cada IV estimará de forma diferente as características da vegetação, fazendo com que varie a sua precisão (JIANG et al., 2019; SAARELA et al., 2020; NAIK; DALPONTE; BRUZZONE, 2021).

Os índices de vegetação estudados são métodos alternativos e mais baratos em relação ao Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), que é mais utilizada pela comunidade científica pra estimação de biomassa e outros parâmetros de vegetação, no entanto, este método requer sensores mais sofisticados e mais onerosos (SABERION et al., 2014; TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014; RASMUSSEN et al., 2016). Dessa forma, os resultados encontrados nesta pesquisa, confirmam que os índices de vegetação NGRDI, GLI e VARI, apesar de serem mais simples, por serem derivados de imagem RGB, de uma maneira geral apresentaram desempenho satisfatório na estimativa dos parâmetros vegetativos.

O desempenho satisfatório dos índices de vegetação na correlação com a maioria dos parâmetros vegetativos quantificados em campo, se deve principalmente a cobertura vegetal do sistema agrícola empregado. Onde os sistemas agroflorestais, normalmente apresentam uma cobertura vegetativa mais densa e menor mancha de solo exposta. Nisso, os índices de vegetação derivados de RGB, normalmente são bastantes sensíveis aos fatores do dossel, principalmente em relação a quantidade de vegetação por conta das diferenças espectrais entre a vegetação e o solo (HUNT et al., 2005). Segundo Fern

et al. (2018), alguns índices de vegetação são inadequados para estimar a biomassa e também outros parâmetros vegetativos em áreas com vegetação mais densa ou a presença de manchas de solo menos expostas, o que não foi observado neste estudo.

Uma das vantagens do uso de IVs extraídos de imagem RGB é que os índices podem ser extraídos para acentuar o verde de uma vegetação e assim identificar as características da vegetação (DU; NOGUCHI, 2017; JIANG et al., 2019). Os resultados desta pesquisa corroboram com os obtidos por Hunt et al. (2005) em que usaram o índice de diferença normalizado verde-vermelho (NGRDI) de imagens RGB para estimar a biomassa de milho, alfafa e soja, e encontraram uma correlação significativa entre o NGRDI e a biomassa destas culturas, reforçando a ideia que, os índices de vegetação cores do visível (RGB) são ferramentas eficientes e promissoras para a extração de informações sobre as plantas, podendo ser usados para estimar diversos parâmetros de vegetação como fração da vegetação, altura da planta, biomassa e rendimentos produtivos (EISFELDER et al., 2012; REN et al., 2018; JIANG et al., 2019).

5 CONCLUSÃO

Os índices GLI, VARI E NGRDI são indicados para estimativa de biomassa e parâmetros vegetativos em sistemas de agroflorestas no bioma Caatinga. No entanto, os mais recomendados para este sistema de produção são os índices de vegetação NGRDI, com correlações médias de 73%(MN), 57%(MS) e 65% (IAF) e o índice VARI, com correlações médias de 73%(MN), 58%(MS) e 67%(IAF) por apresentarem maiores índices de correlação com os parâmetros vegetativos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ANDRADE, R. G. HOTT, M. C.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P.; DOLIVEIRA, P. S. Monitoring of Corn Growth Stages by UAV Platform Sensors. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, v. 6, n. 9, p. 54–58, 2019.
- ARRUDA, D. S. R. et al. Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidades de pastejo. *Ciência Rural*, v. 41, n. 11, p. 2004–2009, nov. 2011.
- BARETH, G.; BOLTEN, A; GNYP, M. L.; REUSCH, S.; JASPER, J. Comparison of

uncalibrated RGBVI with spectrometer-based NDVI derived from UAV sensing systems on field scale. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. 41, 2016.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; GNYP, M.L.; BARETH, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79-87, 2015.

BRETAS, I. L. et al. Prediction of aboveground biomass and dry-matter content in Brachiaria pastures by combining meteorological data and satellite imagery. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 340–352, 1 set. 2021.

DA SILVA, T. G. F. et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015.

DU, M.; NOGUCHI, N. Monitoring of wheat growth status and mapping of wheat yield's within-field spatial variations using color images acquired from UAV-camera system. **Remote sensing**, v. 9, n. 3, p. 289, 2017.

EISFELDER, C.; KUENZER, C.; DECH, S. Derivação de informações de biomassa para áreas semiáridas usando dados de sensoriamento remoto. **Revista Internacional de Sensoriamento Remoto**, v. 33, n. 9, pág. 2937-2984, 2012.

FERN, R. R. et al. Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 16–21, 1 nov. 2018.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, abr. 2002.

GONG, Y. et al. Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season. **Plant Methods** 2021 17:1, v. 17, n. 1, p. 1–16, 10 ago. 2021.

GRÜNER, E.; ASTOR, T.; WACHENDORF, M. Prediction of Biomass and N Fixation of Legume–Grass Mixtures Using Sensor Fusion. **Frontiers in Plant Science**, v. 0, p. 2192, 21 jan. 2021.

HAN, G. D.; JANG, G. J.; KIM, J.; KIM, D. W.; RODROGUES, R.; KIM, S. H.; KIM, H. J.; CHUNG, Y. S. RGB images-based vegetative index for phenotyping kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). **PLOS ONE**, v. 16, n. 9, p. e0256978, 1 set. 2021.

Hijmans, R. J.; Etten, J. V. Raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12. 2012. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>

HUNT, E. R. et al. Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status. **Precision Agriculture** 2005 6:4, v. 6, n. 4, p. 359–378, ago. 2005.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

JIANG, J. et al. Using Digital Cameras on an Unmanned Aerial Vehicle to Derive Optimum Color Vegetation Indices for Leaf Nitrogen Concentration Monitoring in

Winter Wheat. **Remote Sensing** 2019, Vol. 11, Page 2667, v. 11, n. 22, p. 2667, 14 nov. 2019.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001.

LUSSEM, U.; BOLTEN, A.; GNYP, M. L.; JASPER, J.; BARETH, G. EVALUATION OF RGB-BASED VEGETATION INDICES FROM UAV IMAGERY TO ESTIMATE FORAGE YIELD IN GRASSLAND. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf...**, v. XLII, n. 3, p. 1215–1219, 2018.

NAIK, P.; DALPONTE, M.; BRUZZONE, L. Prediction of Forest Aboveground Biomass Using Multitemporal Multispectral Remote Sensing Data. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1282, 2021.

OLIVEIRA, J. T. C. et al. Methodologies in the evaluation of forage mass in tree legumes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, 2018.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, jun. 2020.

PEDRO MOUZINHO DE OLIVEIRA NETO. **DINÂMICA DA VEGETAÇÃO EM CAATINGA MANIPULADA COM EXCLUSÃO AO PASTEJO SOB EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E ÉPOCAS DO ANO**. Serra Talhada, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

R CORE TEAM. **R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing**, 2019.

RASMUSSEN, J. et al. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 75–92, 1 mar. 2016.

REN, H.; ZHOU, G.; ZHANG, F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, p. 439-445, 2018.

REVELLE, W. **Psych Package**. Disponível em: <<http://personality-project.org/r/psych/>>. Acesso em: 21 set. 2021

SABERION, M. M.; AMIN, M. S. M.; ANUAR, A. R.; . GHOLIZADEH, A.; WAYAYOK, A.; KHAIRUNNIZA-BEJO, S. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, p. 35-45, 2014.

SAARELA, S. et al. Mapping aboveground biomass and its prediction uncertainty using LiDAR and field data, accounting for tree-level allometric and LiDAR model errors. **Forest Ecosystems** 2020 7:1, v. 7, n. 1, p. 1–17, 3 jul. 2020.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; CASTRO, A. I; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using

images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 104-113, 2014.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127–150, maio 1979.

WACHENDORF, M.; FRICKE, T.; MÖCKEL, T. Remote sensing as a tool to assess botanical composition, structure, quantity and quality of temperate grasslands. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 1–14, 1 mar. 2018.

WANG, D. et al. Modeling Aboveground Biomass in Hulunber Grassland Ecosystem by Using Unmanned Aerial Vehicle Discrete Lidar. **Sensors 2017, Vol. 17, Page 180**, v. 17, n. 1, p. 180, 19 jan. 2017.