PAULO SÉRGIO SILVA RAMOS

PRODUÇÃO DE *Brachiaria decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO DO RECÔNCAVO BAIANO

LAVRAS – MG
2026

PAULO SÉRGIO SILVA RAMOS

PRODUÇÃO DE *Brachiaria decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO DO RECÔNCAVO BAIANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia da Produção Animal, área de concentração em Nutrição e Produção Animal, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Carla Luiza da Silva Ávila
Orientadora

Dr. Vanderley Porfírio-da-Silva
Coorientador

LAVRAS – MG
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ramos, Paulo Sérgio Silva.
Produção de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril na região do Recôncavo Baiano/ Paulo Sérgio Silva Ramos. - 2025.
63 p. : il.

Orientadora: Carla Luiza da Silva Ávila
Coorientador: Vanderley Porfírio-da-Silva

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Braquiária. 2. Eucalipto. 3. Produção de forragem. I. Ávila, Carla Luiza da Silva. II. Porfírio-da-Silva, Vanderley. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

PAULO SÉRGIO SILVA RAMOS

PRODUÇÃO DE *Brachiaria decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO DO RECÔNCAVO BAIANO

PRODUCTION OF *Urochloa decumbens* IN THE SILVOPASTORAL SYSTEM IN THE RECÔNCAVO BAIANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia da Produção Animal, área de concentração em Nutrição e Produção Animal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 27 de Maio de 2025.

Prof. Dr. Márcio André Stefanelli Lara	UFLA
Dr. Vanderley Porfírio-da-Silva	EMBRAPA

Documento assinado digitalmente
gov.br
CARLA LUIZA DA SILVA AVILA
Data: 26/05/2026 13:47:04-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Carla Luiza da Silva Ávila
Orientadora

Dr. Vanderley Porfírio-da-Silva
Coorientador

LAVRAS – MG
2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder forças, sabedoria e saúde ao longo dessa jornada, e por permitir a concretização de mais esta conquista.

À minha família, por todo o amor, incentivo e apoio incondicional durante cada etapa desta caminhada acadêmica.

À minha orientadora, Professora Dra. Carla Avila, pela orientação precisa, paciência, dedicação e valiosa contribuição científica e humana.

Aos coorientadores, Dr. Vanderlei Porfírio-da-Silva e Dr. Márcio André Stefanelli Lara, pelo suporte técnico, sugestões construtivas e pelo comprometimento com a qualidade deste trabalho.

Ao Sr. Emílio Carlos de Azevedo e a toda a equipe da Fazenda Reunidas Gravatá, pela receptividade, colaboração e apoio indispensável à realização da pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Produção Animal, pela oportunidade, estrutura e excelência na formação científica e profissional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta trajetória, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

Os sistemas convencionais de pastagem, quando manejados de forma inadequada, podem provocar impactos ambientais significativos, como a degradação do solo e a perda de biodiversidade. Nesse contexto, os sistemas silvipastoris, que integram árvores, pastagens e animais, surgem como uma alternativa sustentável, promovendo benefícios ecológicos e produtivos. No Recôncavo Baiano, a espécie forrageira *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster destaca-se por sua elevada adaptabilidade e pelo potencial de melhorar a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, incluindo os sistemas silvipastoris. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de Urochloa decumbens em sistema silvipastoril no Recôncavo Baiano, comparando-a com a produção em pastagem convencional. O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Gravatá, no estado da Bahia, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, com dois tratamentos principais: sistema silvipastoril (SSP) e pastagem convencional (PS). No sistema silvipastoril, foram definidos cinco subtratamentos (A, B, C, D e E), com o intuito de avaliar a influência da distância em relação às árvores sobre o acúmulo de forragem. O subtratamento A foi localizado próximo ao renque de eucalipto, seguido pelo subtratamento B, disposto logo após o A. O subtratamento C ocupou a posição central entre os renques, sendo seguido pelo D e, por fim, pelo subtratamento E, situado próximo ao outro renque de eucalipto. As coletas de forragem foram realizadas a cada 28 dias, durante um período de um ano, para determinação da massa de forragem e do teor de matéria seca. Paralelamente, foi realizado um inventário florestal das árvores de eucalipto aos 40 meses de idade, visando caracterizar o componente arbóreo do sistema silvipastoril. Os subtratamentos B, C e D do sistema silvipastoril apresentaram maior taxa de lotação, altura da pastagem e taxa de crescimento em comparação ao sistema convencional. Esses resultados indicam que a integração de árvores com a pastagem pode favorecer o microclima e o desenvolvimento forrageiro, possibilitando maior capacidade de suporte animal. No entanto, variáveis como massa de forragem e taxa de desaparecimento da biomassa permaneceram estáveis entre os sistemas, sugerindo que o tipo de manejo adotado ainda não provocou mudanças imediatas nas dinâmicas de produção e consumo de forragem. as árvores de eucalipto presentes nos sistemas silvipastoris demonstraram potencial para o sequestro de carbono.

Palavras-chave: braquiária; eucalipto; produção de forragem; pecuária, gradiente de sombra; sustentabilidade.

ABSTRACT

Conventional grazing systems, when managed inadequately, can cause significant environmental impacts, such as soil degradation and loss of biodiversity. In this context, silvopastoral systems, which integrate trees, pastures, and livestock, emerge as a sustainable alternative, offering both ecological and productive benefits. In the Recôncavo Baiano region of Brazil, the forage species *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster stands out for its high adaptability and potential to improve soil quality under various management systems, including silvopastoral systems. Given this, the present study aimed to evaluate the production of Urochloa decumbens under a silvopastoral system in the Recôncavo Baiano, comparing it to conventional pasture management. The experiment was conducted at the Reunidas Gravatá Farm, in the state of Bahia, using a randomized block design with two main treatments: silvopastoral system (SSP) and conventional pasture (CP). Within the silvopastoral system, five sub-treatments (A, B, C, D, and E) were established to assess the influence of tree distance on forage accumulation. Sub-treatment A was located closest to the eucalyptus row, followed by sub-treatment B, immediately adjacent to A. Sub-treatment C was positioned at the midpoint between eucalyptus rows, followed by D, and finally sub-treatment E, located near the eucalyptus row on the opposite side. Forage samples were collected every 28 days over the course of one year to determine forage mass and dry matter content. Concurrently, a forest inventory was conducted at 40 months of age to characterize the arboreal component of the silvopastoral system. Sub-treatments B, C, and D within the silvopastoral system exhibited higher stocking rates, pasture height, and growth rates compared to the conventional pasture. These results suggest that tree integration in pasture systems can enhance the microclimate and promote forage development, thereby increasing the system's carrying capacity. However, variables such as forage mass and biomass disappearance rate remained stable across systems, indicating that the adopted management practices have not yet triggered immediate changes in forage production and consumption dynamics. Additionally, the eucalyptus trees in the silvopastoral systems demonstrated potential for carbon sequestration.

Keywords: *brachiaria; eucalyptus*; forage production; livestock; shade gradient; sustainability.

INDICADORES DE IMPACTO

Impacto Científico: O estudo contribui significativamente para a ampliação do conhecimento sobre sistemas integrados de produção agropecuária em regiões tropicais, especialmente no contexto do Recôncavo Baiano. Os dados obtidos sobre taxa de lotação, acúmulo de forragem e comportamento fenológico da pastagem sob diferentes intensidades de sombreamento oferecem subsídios científicos para o entendimento da dinâmica forrageira em sistemas silvipastoris. A adoção de análises estatísticas robustas e de metodologia experimental replicável fortalece a base científica para estudos futuros sobre integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), fomentando publicações técnico-científicas em periódicos nacionais e internacionais. Impacto Tecnológico: O trabalho viabiliza o desenvolvimento de práticas de manejo adaptadas às condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano. A caracterização da resposta da *U. decumbens* em diferentes zonas de sombreamento possibilita o aperfeiçoamento do arranjo espacial de árvores em sistemas silvipastoris, promovendo maior eficiência no uso da terra e maior capacidade de suporte. Os resultados gerados servem como base para a implementação de tecnologias sustentáveis na pecuária, com potencial de replicação em outras regiões de clima similar. Impacto Social: O aumento da capacidade de lotação nos subtratamentos intermediários (B, C e D) evidencia o potencial do sistema silvipastoril em otimizar a produção pecuária sem expandir a área de pastagem, contribuindo para a segurança alimentar e para a geração de renda de pequenos e médios produtores. Além disso, a estabilidade na produção ao longo das estações demonstra a resiliência do sistema frente às variações climáticas, beneficiando comunidades rurais em regiões de maior vulnerabilidade socioeconômica. Impacto Ambiental: Os dados obtidos destacam o papel do sistema silvipastoril na conservação do solo, no sequestro de carbono e na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A presença do componente arbóreo melhora o microclima, favorece a ciclagem de nutrientes e reduz a evaporação do solo, tornando o sistema mais sustentável do ponto de vista ambiental. A adoção desse modelo contribui para o uso racional dos recursos naturais e para a preservação da biodiversidade em áreas agrícolas. Impacto na Formação Acadêmica: O trabalho proporcionou a formação de um pesquisador capacitado na condução de experimentos em sistemas integrados e no uso de ferramentas analíticas avançadas. A interação entre campo, laboratório e análise estatística, bem como a participação em programas de pós-graduação, fortaleceu a formação técnica e científica do autor, com reflexos diretos na qualificação de recursos humanos voltados à agricultura sustentável.

IMPACT INDICATORS

Scientific Impact: The study significantly contributes to expanding the knowledge on integrated agricultural production systems in tropical regions, particularly within the context of the Recôncavo Baiano. The data obtained regarding stocking rate, forage accumulation, and the phenological behavior of pasture under different shading intensities provide scientific support for understanding forage dynamics in silvopastoral systems. The use of robust statistical analyses and a replicable experimental methodology strengthens the scientific foundation for future research on crop-livestock-forestry integration (ILPF), encouraging the dissemination of technical-scientific publications in national and international journals. Technological Impact: This work enables the development of management practices tailored to the edaphoclimatic conditions of the Recôncavo Baiano. The characterization of *Urochloa decumbens* responses across varying shading gradients supports the refinement of tree spatial arrangements in silvopastoral systems, promoting greater land-use efficiency and increased carrying capacity. The results serve as a basis for the implementation of sustainable livestock technologies with replication potential in other regions with similar climates. Social Impact: The increased carrying capacity observed in intermediate sub-treatments (B, C, and D) highlights the potential of silvopastoral systems to optimize livestock production without expanding pasture areas, thereby contributing to food security and income generation for small- and medium-scale farmers. Additionally, the production stability across seasons demonstrates the system's resilience to climatic variability, offering benefits to rural communities in regions with higher socioeconomic vulnerability. Environmental Impact: The findings emphasize the role of the silvopastoral system in soil conservation, carbon sequestration, and the mitigation of climate change impacts. The presence of the arboreal component improves the microclimate, enhances nutrient cycling, and reduces soil evaporation, rendering the system more environmentally sustainable. Adopting this model supports the rational use of natural resources and the preservation of biodiversity in agricultural landscapes. Impact on Academic Training: The study facilitated the development of a skilled researcher in the field of integrated systems and the application of advanced analytical tools. The integration of fieldwork, laboratory analysis, and statistical modeling, along with participation in postgraduate programs, strengthened the author's technical and scientific training, directly contributing to the qualification of human resources focused on sustainable agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área onde encontra-se o experimento. 21
Figura 2 – Croqui da parcela no sistema silvipastoril, demonstrando os sub-tratamentos em função do distanciamento relativo dos renques arbóreos. O acúmulo de forragem foi avaliado ao dentro de cada sub-tratamento..... 23
Figura 3 – Gaiolas de exclusão instaladas na pastagem solteira (A) e no silvipastoril (B). 24
Figura 4 – Médias de MF (Massa de Forragem) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 27
Figura 5 – Médias de TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 28
Figura 6 – Médias de Desaparecimento (kg de MS/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 30
Figura 7 – Médias de TL (Taxa de Lotação - UA/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 31
Figura 8 – Médias de Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 33
Figura 9 – Médias de Altura da Pastagem (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 34
Figura 10 – Médias de Taxa de Crescimento da pastagem (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E). 35
Figura 11 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Massa de Forragem - MF (kg de MS/ha). 37
Figura 12 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha)..... 38
Figura 13 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para o Desaparecimento (kg/ha). 39
Figura 14 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TL (Taxa de Lotação - UA/ha)..... 41

Figura 15 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m). 43
Figura 16 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da Pastagem (m). 44
Figura 17– Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Taxa de Crescimento (m). 45
Figura 18 – Comparação da média do sistema Convencional × Subtratamentos nas estações do ano para a Massa de Forragem - MF (kg de MS/ha). 46
Figura 19 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha). 47
Figura 20 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para o Desaparecimento (kg/ha). 47
Figura 21 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TL (Taxa de Lotação - UA/ha). 48
Figura 22 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m). 49
Figura 23 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da Pastagem (m). 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química do solo da área do experimento. 22
Tabela 2 – Médias das variáveis analisadas nos Tratamentos durante o Verão e Inverno agrostológico..... 30
Tabela 3 – Crescimento (DAP e Ht) e estimativas de produção (m^3), de captura CO_2 e de número de unidades-animal (UA) que poderiam ter a emissão de metano entérico compensada (UA/ha/ano) pelas árvores de *Eucalyptus urophylla* (clone 1404), aos 40 meses de idade, no sistema silvipastoril. Fazenda Gravatá, Teodoro Sampaio/BA (2024). 51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo geral 14
2.2 Objetivos específicos 14
3 REFERENCIAL TÉORICO 15
3.1 Impactos Ambientais dos Sistemas de Pastagem 15
3.2 Sistemas Silvipastoris e regulação microclimática: impactos na produtividade da pastagem 16
3.3 *Urochloa decumbens* em Sistemas Silvipastoris 19
4 MATERIAL E MÉTODOS 21
4.1 Localização e descrição da área 21
4.1.1 Delineamento experimental 22
4.2 Manejo da pastagem 23
4.3 Avaliação forrageira 23
4.4 Avaliação do componente arbóreo 25
4.5 Análise estatística 26
5 RESULTADO E DISCUSSÃO 27
5.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem 27
5.2 Taxa de Lotação (UA/ha) 31
5.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão 32
5.4 Taxa de Crescimento da forragem 34
5.5 Comparando os Subtratamentos A, B, C, D e E × Sistema convencional em cada estação (inverno e verão) 36
5.5.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem 36
5.5.2 Taxa de Lotação 40
5.5.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão 42
5.5.4 Taxa de Crescimento 44
5.6 Comparando a média do sistema silvipastoril × sistema convencional em cada estação (inverno e verão) 45
5.6.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem 45
5.6.2 Taxa de Lotação 48
5.6.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão 48
5.6.4 Taxa de Crescimento 50
5.7 Componente arbóreo 51
6 CONCLUSÃO 55
REFERÊNCIAS 56

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de pastagem convencionais, quando manejados de forma inadequada, podem causar impactos ambientais significativos (Alves *et al.*, 2024). A degradação ambiental associada a esses sistemas tem se tornado uma preocupação crescente, uma vez que práticas inadequadas, como a escolha incorreta de espécies forrageiras, fatores climáticos adversos, ocorrência de pragas e doenças, presença de plantas invasoras, falta de manutenção e renovação das pastagens, além do excesso de taxa de lotação em determinada área, podem resultar em problemas como compactação do solo, redução da fertilidade e aumento da erosão (Blanco; Lal, 2023; Wróbel; Zielewicz; Staniak, 2023; Tadesse e Hailu, 2024). Esse problema afeta a qualidade do solo e a capacidade de suporte das pastagens, e tem implicação para a sustentabilidade da produção agropecuária.

No Brasil, a produção de *Urochloa decumbens (*Stapf) R.D. Webster em sistemas silvipastoris representa uma tecnologia sustentável para integrar pecuária e cultivo de árvores (Agethen *et al.*, 2024; Rodrigues *et al.*, 2023). O Sistema Silvipastoril (SSP) é uma modalidade de uso da terra que integra, de forma planejada e intencional, a produção de animais, pastagens e árvores em um mesmo ambiente, promovendo a conservação ambiental (Assani *et al.*, 2023; Krüger *et al.*, 2024). A *U. decumbens*, uma espécie de capim amplamente utilizada em pastagens tropicais, desempenha um papel crucial devido à sua adaptação a condições adversas e à capacidade de fornecer forragem de qualidade para o gado, via maior digestibilidade e proteína (Osafo *et al.*, 2023; Tarekegn *et al.*, 2023; Sokupa *et al.*, 2024). A implementação de *U. decumbens* em sistemas silvipastoris oferece diversos benefícios, seu sistema radicular profundo ajuda a prevenir a erosão e melhora a estrutura do solo (Brito *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2024).

O componente arbóreo em sistemas silvipastoris, proporciona diversos benefícios ecológicos e produtivos, como disponibilidade de sombra, redução da temperatura ambiente evaporação e melhoria da umidade do solo (Silva, V. *et al.*, 2024; Špirić; Ramírez, 2024). Além disso, pode contribuir na preservação da qualidade do solo por meio da ciclagem de nutrientes e da proteção contra a erosão, resultando em maior produtividade animal e em uma ciclagem de nutrientes mais eficiente, beneficiando tanto o ambiente quanto a produção agropecuária (Comin *et al.*, 2024; Steinfeld *et al.*, 2024). Esse componente também pode diversificar a produção, oferecendo recursos adicionais como madeira, frutos, ou forragem suplementar, aumentando a resiliência e a eficiência do sistema agropecuário.

No Recôncavo Baiano, a falta de estudos específicos sobre a produção de *U. decumbens* em sistema silvipastoril evidencia a necessidade de investigação nessa área. A combinação de árvores e forrageiras pode melhorar as condições microclimáticas e a fertilidade do solo, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e adaptadas às condições locais (Kumar *et al.*, 2023; Sow *et al.*, 2024; Veste *et al.*, 2024). A disposição espacial das árvores nos sistemas silvipastoris exerce influência significativa sobre a produtividade das forrageiras, principalmente em função da disponibilidade de luz solar incidente no sub-bosque. A interceptação da radiação pelas copas arbóreas pode alterar o microclima, afetando a fotossíntese, o desenvolvimento vegetativo e o acúmulo de biomassa das espécies herbáceas (Casanova-Lugo *et al.*, 2022; Nworji, 2020).

Com base nisso, a hipótese deste estudo é que a produção de *U. decumbens* em sistemas silvipastoris é semelhante à observada em sistemas de pastagem convencionais. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a produtividade da gramínea forrageira *U. decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus urophylla S.T. Blake* – clone 1404, na condição edafoclimática de solo massapê na região do Recôncavo Baiano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a produtividade da gramínea forrageira *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake – clone 1404, na condição edafoclimática de solo massapê na região do Recôncavo Baiano.

2.2 Objetivos específicos

a) comparar a produtividade forrageira da *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril e em pastagem convencional sob as condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano;
b) avaliar os efeitos da distância entre os renques de eucalipto sobre variáveis produtivas da pastagem, como massa de forragem, taxa de crescimento e altura do dossel forrageiro;
c) analisar a influência do sistema silvipastoril sobre a taxa de lotação animal ao longo das estações do ano, considerando os aspectos microclimáticos proporcionados pelo sombreamento arbóreo.

3 REFERENCIAL TÉORICO

3.1 Impactos Ambientais dos Sistemas de Pastagem

Os sistemas de pastagem têm sido amplamente utilizados na produção agropecuária, especialmente em regiões tropicais. No entanto, esses sistemas apresentam impactos ambientais significativos, os quais comprometem a sustentabilidade a longo prazo das atividades agropecuárias (Santos *et al.*, 2022). Entre os principais problemas associados, destacam-se a compactação do solo, a redução da fertilidade, o aumento da erosão, a perda de biodiversidade e a degradação dos ecossistemas (Santos *et al.*, 2022; Wróbel; Zielewicz; Staniak, 2023).

Taxa de lotação excessiva em sistemas de pastagem, leva frequentemente à compactação do solo. A compactação resulta da pressão contínua exercida pelo pisoteio dos animais, que provoca a destruição da estrutura do solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de infiltração de água (Blanco-Sepúlveda *et al.*, 2024). Como consequência, ocorre uma diminuição da retenção de água e dos nutrientes essenciais, impactando negativamente a fertilidade do solo (Amorim *et al.*, 2020). A compactação do solo também impede o desenvolvimento adequado das raízes, comprometendo o crescimento das forrageiras e a produtividade das pastagens (Benevenute *et al.*, 2020; Sousa-Baracho *et al.*, 2024).

A redução da fertilidade do solo é um efeito da compactação e da consequente diminuição da matéria orgânica disponível (Biswas; Kole, 2017). A ausência de uma cobertura vegetal acelera os processos erosivos, pois o solo exposto fica mais vulnerável à ação das chuvas e ventos (Fenta *et al.*, 2020). A erosão do solo, portanto, se intensifica, levando à perda das camadas superficiais mais férteis e, consequentemente, à diminuição da capacidade produtiva das pastagens (Peri *et al.*, 2021; Centeri, 2022).

A monocultura de forrageiras em grandes áreas promove a homogeneização da paisagem, diminuindo a diversidade genética e a variedade de habitats disponíveis para a fauna local (Carvalho *et al.*, 2019). A degradação dos ecossistemas resultante dessa prática afeta não apenas as espécies diretamente impactadas pela perda de habitat, mas também a funcionalidade ecológica, como a polinização, a ciclagem de nutrientes e a regulação do clima (Teague; Kreuter, 2020).

A degradação do solo e a consequente perda de fertilidade reduzem a capacidade de suporte das pastagens, ao comprometer a produtividade forrageira, exigindo áreas maiores para sustentar a mesma taxa de lotação animal (Lai; Kumar, 2020). Tal fator além de comprometer

a produtividade a longo prazo, aumenta os custos de produção, pois os pecuaristas precisam investir mais em insumos como fertilizantes e corretivos de solo para manter a produtividade.

A perda de biodiversidade e a degradação dos ecossistemas também têm implicações econômicas e sociais, pois afetam os serviços ecossistêmicos dos quais as comunidades rurais dependem (Zhang *et al.*, 2021). A redução da disponibilidade de água, afeta a qualidade do solo e diminui a produtividade agrícola (Gavrilescu, 2021) e assim, compromete a segurança alimentar e a renda dos agricultores, especialmente em áreas onde os recursos naturais já são limitados. Embora os sistemas silvipastoris não sejam, isoladamente, capazes de mitigar todas as limitações associadas aos sistemas convencionais de pastagem, sua adoção como estratégia de manejo sustentável representa uma abordagem integrada que contribui para a mitigação de impactos ambientais, a conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade econômica das atividades agropecuárias em longo prazo.

Embora frequentemente associados a efeitos negativos, os impactos ambientais decorrentes de sistemas intensivos de produção animal não devem ser generalizados, pois estão intrinsecamente relacionados às estratégias de manejo adotadas. Práticas como a adubação mineral equilibrada, o controle da taxa de lotação, o uso do pastejo rotacionado e a restituição adequada de matéria orgânica ao solo são capazes de conservar e até aprimorar atributos químicos e físicos do solo, incluindo a fertilidade, a condutividade hidráulica e a densidade do sistema radicular (Primavesi; Corrêa, 2008; Dias-Filho; Lopes, 2021). Barcellos *et al.* (2008) destacam que a adoção de tecnologias como o consórcio de gramíneas com leguminosas e a implementação de bancos de proteína podem aumentar a sustentabilidade da produção animal em pastagens tropicais. Essas práticas melhoram a qualidade do solo e reduzem a necessidade de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Os dados de literatura indicam que, quando planejados com critérios técnico-científicos e executados de forma racional, os sistemas intensivos de produção em pastagens podem ser sustentáveis e ambientalmente compatíveis, contrapondo-se à concepção de que a intensificação, por si só, resulta em degradação ambiental (Primavesi; Corrêa, 2008; Barcellos *et al.*, 2008; Dias-Filho; Lopes, 2021).

3.2 Sistemas Silvipastoris e regulação microclimática: impactos na produtividade da pastagem

Os sistemas silvipastoris representam uma alternativa sustentável aos sistemas de pastagem tradicionais, oferecendo múltiplos benefícios ambientais, econômicos e sociais

(Agethen *et al.*, 2024). Esses sistemas promovem o manejo integrado de recursos naturais, reduzem os riscos de degradação e potencializam a sustentabilidade agropecuária (Jose; Dollinger, 2019). Além disso, são adaptáveis a diferentes regiões e climas, permitindo aespecificação do manejo conforme as condições locais e objetivos produtivos (Huertas *et al.*, 2021).

O sistema pode ser implantado por meio do plantio, conservação e/ou manutenção de árvores previamente existentes ou que emergem naturalmente na pastagem, sendo necessário planejamento e manejo adequados das espécies silvipastoris utilizadas (Silva, I. *et al.*, 2024). Um dos principais atrativos desses sistemas é a diversificação das atividades produtivas, que contribui para ganhos econômicos, redução de custos e maior resiliência do sistema agropecuário (Vieira Junior *et al.*, 2022). A integração entre árvores, pastagens e gado gera múltiplas fontes de renda (Thornton; Herrero, 2014), incluindo carne, leite, madeira, frutos e produtos florestais não madeireiros.

As árvores têm papel crucial na melhoria do solo e do microclima em sistemas silvipastoris (Kumar *et al.*, 2023; Agethen *et al.*, 2024). Suas raízes profundas descompactam o solo, promovem infiltração de água e absorção de nutrientes (Lu *et al.*, 2020). A copa proporciona sombra, reduz a temperatura nas áreas de pastagem, melhora o bem-estar animal (Smith; Pearce; Wolfe, 2013; Reis *et al.*, 2021) e favorece a manutenção da cobertura vegetal, diminuindo o risco de degradação. A transmissividade da radiação solar pelas copas arbóreas é determinante na dinâmica do microclima. Essa transmissividade está ligada à estrutura da copa, à densidade de plantio e ao arranjo espacial das árvores, influenciando a quantidade de luz que atinge o sub-bosque e, consequentemente, a produção de forragem (Nworji, 2020; Casanova-Lugo *et al.*, 2022).

A variação na intensidade da luz ao longo do sistema cria um gradiente de sombreamento, influenciando de forma distinta as diferentes zonas de crescimento das forrageiras. Em ambientes com sombreamento moderado, gramíneas tolerantes à sombra mantêm crescimento sustentado, beneficiadas por temperaturas mais baixas, maior umidade e menor evapotranspiração (Hernández *et al.*, 2024). Em regiões com sombra excessiva, a radiação fotossinteticamente ativa se torna limitante, comprometendo a produção de biomassa (Torres-Lugo *et al.*, 2022). Por outro lado, em áreas expostas ao sol, o crescimento pode ser favorecido, mas o estresse térmico e hídrico afeta a produtividade e a qualidade da forragem (Oyarzabal; Oesterheld, 2023).

A escolha de espécies arbóreas deve considerar o ideótipo ideal: copas altas, permeáveis à luz e arquitetura que permita a entrada de radiação difusa, favorecendo gramíneas adaptadas

a ambientes com luminosidade intermediária e minimizando a competição por luz (Gomes *et al.*, 2021; Vieira Junior *et al.*, 2022). O planejamento da densidade e do arranjo arbóreo, associado ao manejo adaptativo (podas e manejo rotacionado do gado), é essencial para regular o microclima, promover eficiência no uso da luz e otimizar a produção de forragem. Portanto, a compreensão dos efeitos microclimáticos associados à transmissividade da luz pelas copas e ao uso de espécies arbóreas apropriadas é fundamental para otimizar a produção de forragem e garantir a sustentabilidade de sistemas silvipastoris em diferentes contextos ecológicos e produtivos.

Plantas do gênero *Eucalyptus* são amplamente utilizadas nos sistemas silvipastoris brasileiros, devido à elevada taxa de crescimento e à qualidade da madeira (Skorupa; Behling; Silva, 2021). Pereira *et al.* (2021) observaram maior massa de forragem em sistemas com *Eucalyptus* e *Brachiaria* em comparação à pastagem convencional. Dogliotti *et al.* (2024) relataram que o crescimento das árvores em sistemas silvipastoris promoveu maior homogeneidade microclimática, resultando em melhor distribuição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ao longo do tempo e espaço, além de aumento do índice de área foliar e do teor de água no solo nas zonas de pastagem. Em meta-análise conduzida por Oliveira *et al.* (2022), sistemas com até 99 árvores/ha apresentaram acréscimo médio de 4,06 Mg/ha na massa de forragem em relação à monocultura.

Estudos como o de Casanova-Lugo *et al.* (2022), realizados em sistemas pecuários tropicais do México, demonstraram que densidades de até 126 árvores/ha com cobertura de copa de até 20% foram eficientes para aumentar a produtividade de forragem, especialmente quando associadas à *Brachiaria brizantha* cv Marandu. De forma semelhante, Vieira Junior *et al.* (2022) verificaram que espaçamentos entre fileiras de *Eucalyptus* entre 30 e 45 m proporcionam incidência luminosa suficiente para manter a produtividade da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu ao longo dos anos.

Esses benefícios têm impacto direto na sustentabilidade do sistema. O ciclo de nutrientes é aprimorado, elevando a fertilidade do solo e reduzindo a dependência de insumos externos como fertilizantes e rações (Comin *et al.*, 2024; Steinfeld *et al.*, 2024). Isso reduz custos e promove maior sustentabilidade da pecuária. O aumento da biomassa arbórea e o sequestro de carbono contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente em substituição a sistemas convencionais de pecuária extensiva.

Apesar dos benefícios, há desafios nos sistemas silvipastoris, como a competição entre árvores e pastagens por água, nutrientes e luz, o que pode reduzir a biomassa (Lopez-Díaz; Rigueiro-Rodríguez; Mosquera-Losada, 2009; Gargaglione; Peri; Rubio, 2014). A produção de

madeira também pode ser afetada por danos causados pelo gado, como lesões em troncos e herbivoria em mudas (Guerreiro; Nicodemo; Porfirio, 2015; Nicodemo; Porfírio-da-Silva, 2019).

Ainda assim, os sistemas silvipastoris contribuem para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustável (ODS), como o aumento dos estoques de carbono no solo, a neutralização da degradação da terra, a promoção da biodiversidade (ODS 15), a segurança alimentar (ODS 2) e a resolução de conflitos (ODS 16). Vale destacar que, embora os sistemas integrados apresentem vantagens ambientais significativas, monocultivos bem manejados também podem contribuir para esses objetivos, especialmente quando adotam práticas conservacionistas, como adubação verde, rotação de culturas, cobertura do solo e manejo eficiente da fertilidade. Contudo, os sistemas silvipastoris oferecem maior resiliência e multifuncionalidade, o que os torna especialmente atrativos em contextos de vulnerabilidade climática e social. A escassez de recursos como forragens é uma das principais causas de conflito entre agricultores e pastores em regiões como a África Ocidental. O plantio de árvores nessas áreas pode fornecer sombra e forragem na estação seca, contribuindo para a estabilidade social (Ikhuoso *et al.*, 2020).

3.3 *Urochloa decumbens* em Sistemas Silvipastoris

A *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster é uma gramínea tropical amplamente utilizada em pastagens devido à sua robustez, alta capacidade de adaptação e vigorosa produção forrageira. Esta espécie é notável por sua tolerância a condições adversas, como solos ácidos e de baixa fertilidade, além de ser resistente a períodos de seca, ao pisoteio do gado e à sombra, característica que a torna especialmente adequada para sistemas silvipastoris (Marins *et al.*, 2023). A tolerância à sombra permite que a *U. decumbens* mantenha um bom desempenho em ambientes com cobertura arbórea, aproveitando os benefícios microclimáticos desses sistemas, como a redução do estresse térmico. Além disso, *U. decumbens* apresenta um sistema radicular profundo em média de 2 m, que permite explorar camadas mais baixas do solo em busca de água e nutrientes, contribuindo para sua resiliência em ambientes desafiadores (Silva, J. *et al.*, 2024). Sua rápida taxa de crescimento e sua capacidade de formar uma cobertura densa do solo também são características que favorecem a prevenção da erosão e a proteção do solo (Souza *et al.*, 2024).

Em sistemas silvipastoris, a *U. decumbens* desempenha um papel importante na promoção da sustentabilidade (Rodrigues *et al.*, 2023). Sua capacidade de cobrir o solo de

maneira eficiente ajuda a minimizar a erosão e a perda de nutrientes, o que é essencial para a conservação dos recursos naturais (Lima *et al.*, 2019). Além disso, a presença de *U. decumbens* em consórcio com árvores e animais melhora a ciclagem de nutrientes, uma vez que as folhas e raízes da gramínea, em conjunto com as árvores, aumentam a matéria orgânica do solo (Calil *et al.*, 2016). A gramínea, desde que manejada de forma correta, também oferece uma forragem de boa qualidade para o gado, garantindo uma alimentação adequada ao longo do ano, mesmo em períodos de menor disponibilidade de recursos hídricos e climáticos favoráveis (Tarekegn *et al.*, 2023; Sokupa *et al.*, 2024).

Quando comparada a sistemas de pastagem tradicionais, a produtividade forrageira da*U. decumbens* em sistemas silvipastoris pode apresentar variações, dependendo do manejo adotado e das condições ambientais. Nos sistemas tradicionais, a gramínea pode alcançar altas produtividades em curto prazo, especialmente em áreas de monocultivo intensivo (Santos *et al.*, 2022). Esses sistemas, se forem mal manejados, sofrem com a degradação do solo e a diminuição da fertilidade ao longo do tempo (Blanco; Lal, 2023; Wróbel; Zielewicz; Staniak 2023).

Em sistemas silvipastoris, a produtividade da *U. decumbens* tende a ser mais sustentável a longo prazo (Rodrigues *et al.*, 2023; Agethen *et al.*, 2024). A presença de árvores pode proporcionar temperaturas mais amenas e maior umidade, favorecendo o crescimento da gramínea, mesmo em condições de estresse hídrico (Benegas *et al.*, 2021; Agethen *et al.*, 2024).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e descrição da área

O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Gravatá, localizada no município de Teodoro Sampaio, Bahia, com coordenadas geográficas Lat -12.2832186 e Long -38.6080828 (Figura 1) no período de janeiro a dezembro de 2024. Dois piquetes de 15 hectares cada um foram utilizados no experimento.

Figura 1 – Localização da área onde encontra-se o experimento.



Fonte: Google imagens (2024).

O componente forrageiro é composto *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster. cultivada há mais de 20 anos. Em setembro de 2021, o componente florestal, eucalipto (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake -clone 1404). As árvores foram plantadas no arranjo espacial de renques de uma e duas linhas, intercalados, espaçados em 14 m. Nos renques de uma linha as árvores foram plantadas à cada 2,5 metros; nos renques de duas linhas, as árvores foram plantadas no espaçamento de 4 m entre as linhas e 2,5 m entre árvores na linha. Configurando o sistema silvipastoril com uma densidade inicial de 393 árvores por hectare (Figura 2).

A região possui um clima tropical, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por temperaturas elevadas, frequentemente superiores a 26 ºC durante grande parte do ano. A estação chuvosa ocorre de maio a agosto, correspondendo ao período de inverno, enquanto o verão, de setembro a abril, é marcado por baixa precipitação e temperaturas que ultrapassam 32ºC nas horas mais quentes do dia (Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais do Estado da Bahia, SEI, 2024). A distribuição da precipitação em 2024 no município

foi de 1.376,04mm. A precipitação média mensal registrada no período de realização do experimento foi de 114,67 mm, com umidade relativa do ar mínima e máxima de 42 e 100 %, respectivamente, e com temperatura mínima e máxima de 15 e 30 ºC, com média de 23,75 ºC. O solo da área experimental é o massapê do tipo Vertissolos (Lima, 2014), cuja análise química realizada antes da implantação das plantas de eucaliptos, está descrita na Tabela 1. A área do estudo não recebeu adubação desde a implantação.

Tabela 1 - Análise química do solo da área do experimento.

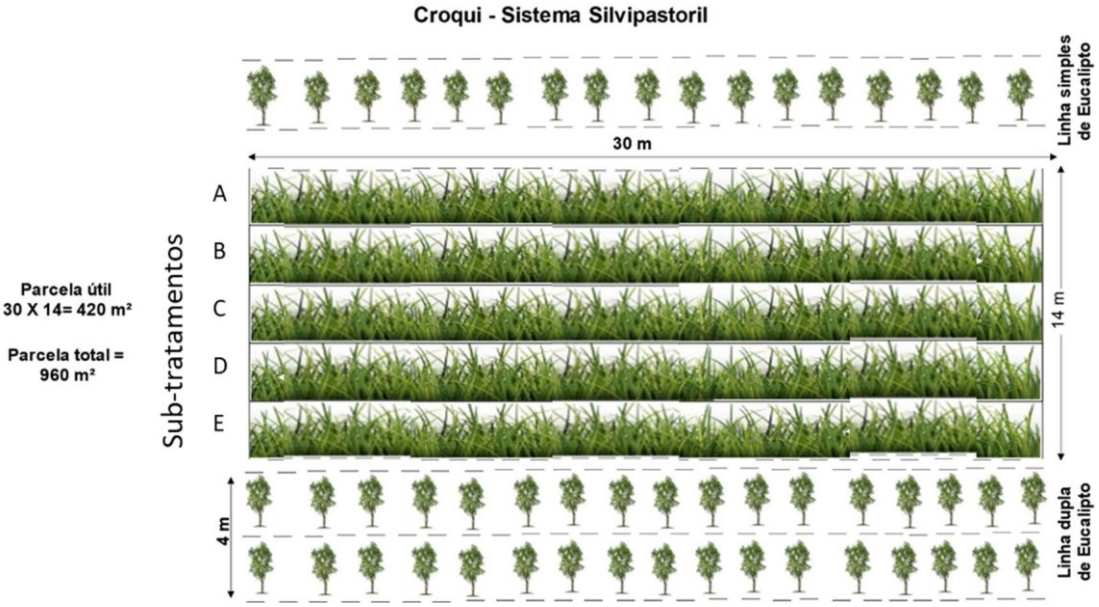
Prof	pH	P	K	Ca + Mg	Ca	Mg	Al	H + Al	Na	S	CTC	V	MO
(cm)	(H_2O)	(Mg/dm^3)		----------(Cmolc/dm^3)----------								(%)	(g/dm^3)
0-20	7,24	3,3	36,3	26,4	22,7	3,7	0,0	0,55	0,25	26,7	27,2	92,47	11,60
20-40	7,15	2,7	26,0	25,4	22,0	3,4	0,0	0,54	0,19	25,5	26,13	65,29	9,87

Fonte: elaboração própria.

4.1.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido comparando dois tratamentos (sistemas de uso da terra): T1 = o sistema silvipastoril (SSP); T2 = a pastagem solteira exposta ao sol pleno (PS), com três repetições para cada tratamento, totalizando seis parcelas experimentais com 420 m² cada uma. O sistema silvipastoril foi composto por cinco sub-tratamentos (A, B, C, D e E) com o objetivo de avaliar a influência das distâncias das árvores sobre o acúmulo de forragem (AF) (Figura 2). Os sub-tratamentos estão localizados entre os renques de eucalipto. Cada sub-tratamento possui uma faixa de 30 metros de comprimento por 2,8 metros de largura, dispostas lado a lado ao longo do espaçamento entre os renques. O subtratamento A está situado na área mais próxima ao renque de eucalipto, seguido pelo subtratamento B, que fica imediatamente após o A. O subtratamento C está posicionado logo após o B, no meio do espaçamento entre os renques de eucalipto. O subtratamento D segue na sequência, imediatamente após o C, e o subtratamento E está localizado próximo ao renque de eucalipto, após o D.

Figura 2 – Croqui da parcela no sistema silvipastoril, demonstrando os sub-tratamentos em função do distanciamento relativo dos renques arbóreos. O acúmulo de forragem foi avaliado ao dentro de cada sub-tratamento.



Fonte: elaboração própria.

4.2 Manejo da pastagem

A Fazenda Reunidas Gravatá adota o manejo de pastagem por sistema de lotação rotacionada. A propriedade é composta por 30 piquetes, cada um com uma área de 15 hectares. O critério para a entrada dos animais no pasto é a altura do *Urochloa decumbens*, estabelecida em 0,35 metros, enquanto a retirada dos animais ocorre quando a altura atinge 0,20 metros, conforme avaliação do gerente da fazenda.

Esse manejo de lotação rotativa foi aplicado tanto nas áreas que integram o sistema silvipastoril quanto naqueles com pastagem solteira. Após o período de descanso do pasto, os animais retornam aos piquetes, com o tempo de descanso sendo determinado também pela altura da pastagem. A Fazenda Reunidas Gravatá não realiza correção de solo ou adubação, e o manejo na área do experimento segue essa mesma prática, sem intervenções para correção ou adição de nutrientes ao solo.

4.3 Avaliação forrageira

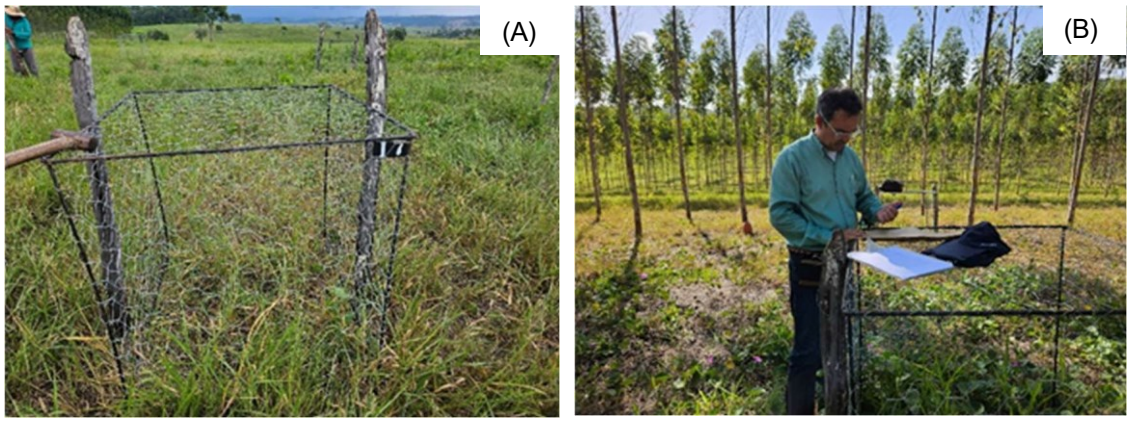
Para a coleta de amostras do componente forrageiro, foi utilizada a técnica do método triplo em emparelhamento, conforme descrito por Moraes, Moojen e Maraschin (1990). Embora o sistema adotado tenha sido o de pastejo rotacionado, a utilização de gaiolas de exclusão se

justifica pela necessidade de estimar com precisão o acúmulo de forragem sem a interferência do pastejo animal. As gaiolas permitem isolar uma área da pastagem, funcionando como testemunha do crescimento da forragem sob condições naturais de clima e solo, mas sem a ação dos herbívoros.

Essa comparação é fundamental para calcular a taxa de crescimento da pastagem, a produção acumulada e o consumo indireto pelos animais, garantindo uma avaliação mais acurada do desempenho do sistema. Para a alocação das gaiolas e das estacas de referência, a altura média da pastagem foi determinada por medições em dez pontos aleatórios dentro de cada parcela (no caso do tratamento SSP).

Foram utilizadas gaiolas estruturas quadradas com 1,0 metro de lado, construídas com vergalhões de ferro e revestidas com tela nos quatro lados e na parte superior (Figura 3A e B), permitindo a entrada de água das chuvas, luz solar e ventilação.

Figura 3 – Gaiolas de exclusão instaladas na pastagem solteira (A) e no silvipastoril (B).



Fonte: elaboração própria.

Em cada data de amostragem, a pastagem foi coletada tanto dentro quanto fora da gaiola (estaca). Antes do corte, a altura média da pastagem foi medida em ambas as condições, utilizando régua posteriormente foi coletada amostra, uma moldura quadrada de madeira com 0,5 m de lado (área de 0,25 m^2), onde todas as plantas contidas dentro da moldura foram cortadas rente ao solo. As amostras coletadas foram, então, pesadas para determinar o peso fresco. Na sequência, uma sub-amostra, com peso variando entre 100 g e 150 g, foi retirada para determinação da matéria seca em laboratório. Quando o peso da amostra era menor do que estes limites, não foi feito sub-amostragem.

As amostras para a determinação de matéria seca (MS) foram acondicionadas em embalagem de papel e enviada ao Laboratório de Análises de Solo em Catu - BA, em estufa a 55°C durante 72 horas (Carvalho *et al.*, 2008).

4.4 Avaliação do componente arbóreo

Para a avaliação do componente arbóreo, foram realizadas medições do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura das árvores utilizando o aplicativo Trees, em três parcelas por subtratamento. As avaliações foram conduzidas nos subtratamentos A, B, C, D e E do sistema silvipastoril, com os valores médios sendo posteriormente comparados ao tratamento controle (pasto a pleno sol).

O componente arbóreo foi avaliado em intervalos de 28 dias, totalizando 12 campanhas de medição ao longo do ano de 2024.

Para a análise dos dados medidos nas arbóreos das árvores de *Eucalyptus urophylla* – (clone 1404) que constituem o sistema silvipastoril, as seguintes equações e parâmetros foram utilizados:

Volume de madeira por árvore (vol/arv): O volume médio por árvore foi calculado utilizando a equação: vol/arv média (m^3) = $DAP^2 * \pi / 4) / Ht * Ff$. Onde, DAP: Diâmetro à altura do peito (cm); Ht: Altura da árvore (m); Ff: Fator de forma (0,4 para árvores jovens de eucalipto) conforme Vera *et al.* (2022).

Volume de madeira por hectare (vol/ha): O volume por hectare foi obtido pela multiplicação do volume médio por árvore pelo número de árvores por hectare (densidade arbórea): vol/ha (m^3) = vol/arv média * N. Onde N = número de árvores existentes por hectare (ou, densidade arbórea).

Carbono atmosférico equivalente (tCO_2 eq/ha) contido na biomassa lenhosa das árvores: O valor de tCO_2 eq/ha foi estimado pela equação: tCO_2 eq/ha = (vol/ha + 25%) * (dB madeira) * (%C na madeira) * (razão de massa molecular da madeira). Em que, dB = 0,35, %C = 0,49 (conteúdo de carbono na madeira). A razão de massa molecular de CO_2 para carbono é 3,66 (Oliveira *et al.*, 2018).

Mitigação das emissões de metano entérico (kg CH_4): A mitigação das emissões de metano foi estimada a partir de tCO_2 eq/ha com a seguinte equação: kg CH_4 = tCO_2 eq/ha / 28 * 1000 / nR. Em que, 28 = poder de aquecimento do CH_4 em relação ao CO_2, 1000 = transforma tonelada em kg, nR = nível de referência [70 pelo Tier 2 (nível 2 do Intergovernmental Panel

on Climate Change - IPCC, 2006); 56 pelo Tier 1 (nível 1 do IPCC, 2006); 66 pela equação da Rede Embrapa (Medeiros *et al.*, 2014)].

4.5 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi conduzida por meio de modelos lineares mistos, utilizando o pacote lmerTest no software R (R Core Team, 2025), com o objetivo de considerar a estrutura hierárquica e longitudinal do experimento, que envolveu medições repetidas ao longo do tempo em cada unidade experimental. O modelo adotado incluiu como efeitos fixos os fatores tratamento (subtratamentos A, B, C, D, E e controle), estação do ano (inverno e verão) e a interação entre esses fatores. As parcelas experimentais foram consideradas como efeito aleatório, permitindo captar a variabilidade intraunidade ao longo das medições.

Para modelar adequadamente a dependência temporal entre as observações repetidas, foi incorporada uma estrutura de correlação entre os tempos, assegurando que a autocorrelação entre medições fosse considerada na estimativa dos parâmetros. Além disso, a heterogeneidade das variâncias entre os grupos foi tratada mediante a especificação de diferentes estruturas de variância por tratamento, utilizando o argumento weights = varIdent() do pacote nlme. Isso permitiu maior precisão nos ajustes, sobretudo em contextos de variância desigual ou dados não balanceados.

Após o ajuste do modelo, procedeu-se à comparação das médias dos tratamentos com o grupo controle (pastagem solteira exposta ao sol pleno) por meio do teste de Dunnett, implementado pela função glht() do pacote multcomp. Essa abordagem permite comparações múltiplas direcionadas ao controle, com correção adequada do erro tipo I, mesmo sob cenários de variâncias heterogêneas. O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha = 0,05$), e os intervalos de confiança foram calculados com base na distribuição t ajustada aos graus de liberdade apropriados do modelo.

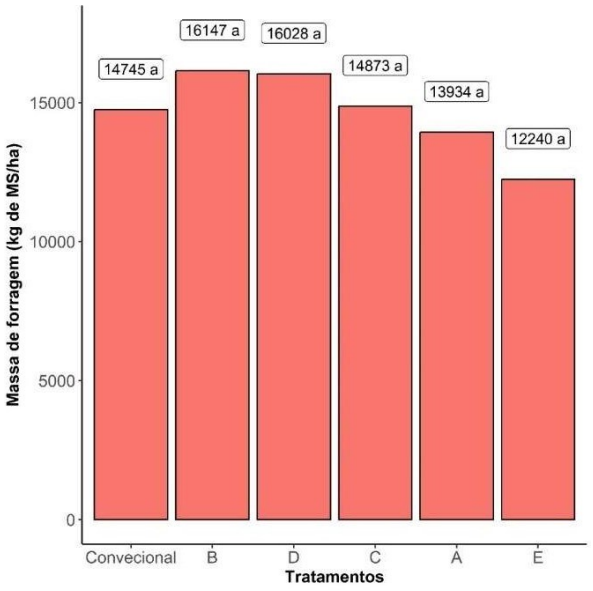
5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem

A análise de variância para a variável massa de forragem (MF) indicou que nenhum dos fatores teve efeito significativo (P>0,05) (Tabela 2 e Figura 4). Esses resultados indicam que a produtividade de massa de forragem permaneceu estável independentemente da estação do ano ou do tipo de tratamento aplicado, sugerindo que outros fatores, como o tipo do solo, manejo de pastagem, ou características genéticas da forrageira, podem ter maior impacto no desenvolvimento da massa de forragem (Caradus; Chapman, 2024) que os tratamentos e as estações em estudo.

Embora a maior retenção de umidade no solo, a sombra moderada e a ciclagem de nutrientes sejam benefícios característicos do sistema silvipastoril, os resultados deste estudo indicaram que o rendimento de biomassa foi semelhante nos dois sistemas analisados. Isso sugere que, em termos de produção de forragem e biomassa, o sistema silvipastoril apresentou desempenho comparável ao sistema convencional, mesmo com as vantagens microclimáticas que oferece. Estudos anteriores relatam que o sistema silvipastoril pode alcançar rendimentos de biomassa similares aos do sistema convencional justamente devido à combinação desses benefícios microclimáticos (Kumar *et al.*, 2023; Agethen *et al.*, 2024; Hernández *et al.*, 2024).

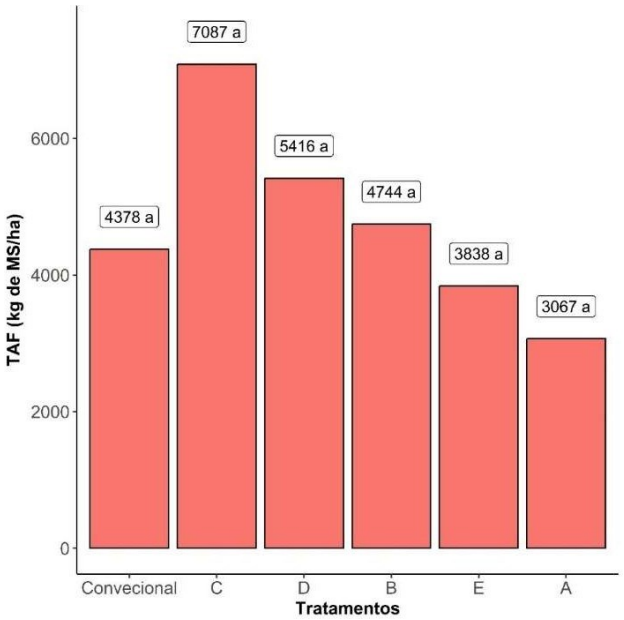
Figura 4 – Médias de MF (Massa de Forragem) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

Com relação à taxa de acúmulo de forragem (TAF), também não foi observado efeito significativo dos fatores estudados ou da interação (P>0,05) (Tabela 2 e Figura 5). Apesar da variação entre os tratamentos comparado ao controle, essa diferença não foi significativa. Estação apresentou tendência de efeito significativo (p = 0,076), sugerindo possível efeito sazonal na taxa de acúmulo de forragem, o que pode indicar uma variação nas condições ambientais ao longo do ano, como temperatura e precipitação, que poderiam influenciar o crescimento da forrageira. Em um estudo que avaliou o impacto do manejo no valor produtivo e nutritivo de cinco sistemas de produção baseados em pastagens: pastagem irrigada com 600 kg de nitrogênio por hectare (IP600), pastagem de sequeiro com 400 kg N ha^{-1} (RP400), pastagem de sequeiro com 200 kg N ha^{-1} (RP200), sistema silvipastoril com 200 kg N ha^{-1} (SP200) e pastagem degradada sem adubação nitrogenada (DP0), foi constatado que os sistemas mais intensificados e manejados adequadamente apresentaram melhores características produtivas e nutricionais quando comparados às pastagens degradadas ou ao sistema silvipastoril, sendo especialmente evidentes em períodos de maior precipitação ou sob condições de irrigação (Neto *et al.*, 2024).

Figura 5 – Médias de TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

Embora os resultados obtidos não indiquem diferenças significativas no rendimento de biomassa entre o sistema silvipastoril e o sistema convencional (Figura 5), a sombra das árvores nos sistemas silvipastoris pode influenciar diretamente a produção de forragem. De acordo com

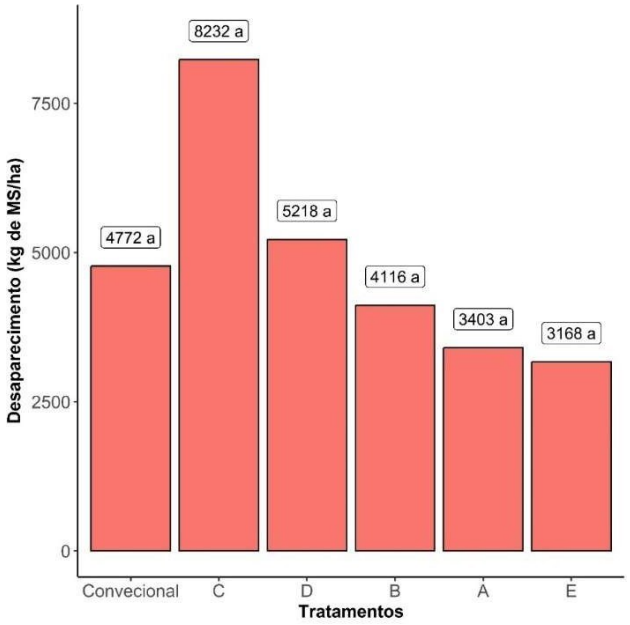
Hernández *et al.* (2024), o gradiente de sombra exerce um impacto significativo sobre o microclima, afetando fatores como temperatura, umidade e radiação solar. Esses fatores influenciam os processos fisiológicos das plantas, e, dependendo da intensidade da sombra, podem gerar tanto efeitos positivos quanto negativos na produção forrageira.

Além disso, estudos de Casanova-Lugo *et al.* (2022) sugerem que, em determinados contextos, como na região de Tabasco, México, a *Brachiaria brizantha* apresentou maior produção de forragem sob a copa das árvores em comparação com áreas na borda ou fora da copa. Esses resultados indicam que, em ambientes controlados, a sombra pode reduzir o estresse hídrico e térmico, criando condições mais favoráveis para o crescimento das gramíneas. No estudo realizado por Paciullo *et al.* (2007), observou-se que o sombreamento intenso (65% de sombra) reduz os valores de massa de forragem, densidade de perfilhos e índice de área foliar da *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster. Por outro lado, o sombreamento moderado (35% de sombra) não provoca alterações significativas nessas variáveis quando comparado ao cultivo a pleno sol.

Há estudos que indicam redução na produção de forragem sob condições de sombreamento intenso, devido à acentuada diminuição das taxas fotossintéticas em gramíneas de metabolismo C4. A espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, por exemplo, apresentou uma redução de 60% na taxa de acúmulo de matéria seca (MS) quando cultivada sob sombreamento artificial de 70% (Andrade *et al.*, 2004). Paciullo *et al.* (2011) alertam que níveis excessivos de sombra podem limitar a radiação fotossinteticamente ativa, restringindo o crescimento das plantas. A resposta das gramíneas à sombra está fortemente relacionada à sua capacidade de adaptação, com espécies mais tolerantes à sombra mostrando desempenho superior em sistemas silvipastoris. Esses achados reforçam que, enquanto os benefícios do sistema silvipastoril são evidentes, o grau de sombreamento e as condições edafoclimáticas locais devem ser considerados ao avaliar seu impacto na produtividade forrageira.

Não foram detectados efeitos significativos dos sistemas, estações e interação entre os fatores sobre o desaparecimento de forragem ($P>0,05$) (Tabela 2 e Figura 6). Isso sugere uma estabilidade dessa variável entre os tratamentos e estações.

Figura 6 – Médias de Desaparecimento (kg de MS/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 – Médias das variáveis analisadas nos Tratamentos durante o Verão e Inverno agrostológico.

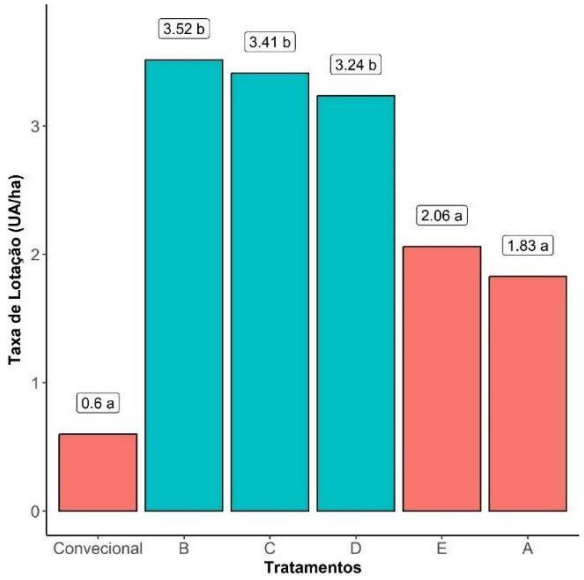
Sub	Estação	MF	TAF	TL	Altura da pastagem na Gaiola	Altura Pastagem	Taxa de cresc.	Desap.
		(kg de MS/ha)				(m)		(kg/ha)
A	Inverno	12793	17887	2,48	0,52	0,38	0,14	5131
A	Verão	15076	2353	1,18	0,37	0,29	0,07	1675
B	Inverno	16269	23586	4,4	0,58	0,50	0,08	6047
B	Verão	16024	7727	2,63	0,37	0,38	-0,01	2186
C	Inverno	14626	25902	3,91	0,64	0,49	0,15	7122
C	Verão	15120	20873	2,91	0,50	0,41	0,09	9341
D	Inverno	14431	26557	3,48	0,57	0,46	0,11	6526
D	Verão	17625	9188	2,99	0,41	0,37	0,04	3910
E	Inverno	12322	16190	2,9	0,47	0,43	0,04	3654
E	Verão	12158	9143	1,22	0,30	0,29	0,02	2683
Conv	Inverno	14653	14749	0,93	0,35	0,25	0,11	6036
Conv	Verão	14836	14148	0,27	0,29	0,23	0,07	3508
				Probabilidade dos efeitos				
Sistemas	0,407		0,534		0,002	<0,001	0,144	0,419
Estação	0,534		0,076		0,001	<0,001	0,028	0,191
Interação	0,419		0,778	0,002	0,649	0,0774	0,989	0,841

Fonte: elaboração própria.
Entre parênteses ( ): subtratamentos; MF: Massa de Forragem; TAF: taxa de acúmulo de forragem; OF: oferta de pastagem; TL: taxa de lotação.

5.2 Taxa de Lotação (UA/ha)

A taxa de lotação foi significativamente influenciada tanto pelos fatores tratamentos ($p < 0{,}001$) (Figura 7) quanto pela Estação ($p = 0{,}002$) (Tabela 2).

Figura 7 – Médias de TL (Taxa de Lotação - UA/ha) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

A comparação múltipla pelo teste de Dunnett para TL (Taxa de Lotação) indicou que os Subtratamentos B, C e D apresentaram valores significativamente maiores do que o Convencional ($p < 0{,}001$ para B e C; $p = 0{,}0002$ para D). Já os Subtratamentos A e não diferiram estatisticamente do sistema Convencional ($p = 0{,}1854$ e $p = 0{,}0814$, respectivamente; Figura 7). Esses resultados indicam que os sistemas B, C e D proporcionaram uma maior capacidade de lotação, permitindo o uso mais intensivo da área com a mesma quantidade de unidades animais, o que pode indicar uma maior eficiência desses Subtratamentos no uso de pastagem. O sistema silvipastoril intensivo com *Tithonia diversifolia* em alta densidade, associado a árvores nativas e pastejo rotacional, aplicado em uma região da Colômbia com solos muito ácidos, pobres em nutrientes e submetidos a altas chuvas, condições semelhantes às encontradas no norte da Nigéria, resultou em 47% na capacidade de suporte (unidades animais por hectare), em comparação aos sistemas de pastejo convencionais (Rivera *et al.*, 2015).

Ao levantar dados sobre a aplicação potencial de experiências de sistemas silvipastoris latino-americanos para melhorar a criação de ruminantes na Nigéria, (Adegbeye *et al.*, 2024) verificaram que, em fazendas individuais, a adoção de sistemas silvipastoris (SPS) pode

aumentar a estabilidade e a resiliência dos meios de subsistência dos agricultores, impulsionar a produção de leite, facilitar o crescimento animal e melhorar o bem-estar animal.

Em contraste, os sistemas A e não apresentaram vantagens significativas sobre o sistema Convencional, possivelmente devido a características específicas desses tratamentos que não favorecem o aumento da taxa de lotação. Esses resultados sugerem que os sistemas B, C e D proporcionaram uma maior taxa de lotação em comparação ao sistema Convencional, enquanto os sistemas A e não apresentaram diferenças significativas.

O fator Estação influenciou significativamente a Taxa de Lotação (p = 0,002), sendo que no inverno a TL média foi de 3,02UA/ha e no verão foi de 1,86 UA/ha, refletindo as variações sazonais nas condições ambientais que afetam a disponibilidade de forragem e a capacidade de suporte do sistema. A combinação desses fatores destaca a importância de ajustar as estratégias de manejo em função das estações do ano para otimizar a lotação das áreas de pastagem.

A taxa de lotação (TL) foi significativamente influenciada pelos tratamentos (Figura 7), com o sistema silvipastoril mostrando um desempenho superior, especialmente nos meses de baixa precipitação. Esse comportamento sugere que o sistema silvipastoril é mais eficiente em amortecer os impactos das oscilações de precipitação, o que permite uma maior produção de forragem mesmo durante períodos de seca. Esse efeito pode ser atribuído à presença de árvores no sistema, que criam um microclima favorável, com maior retenção de umidade no solo e redução do estresse hídrico para as plantas.

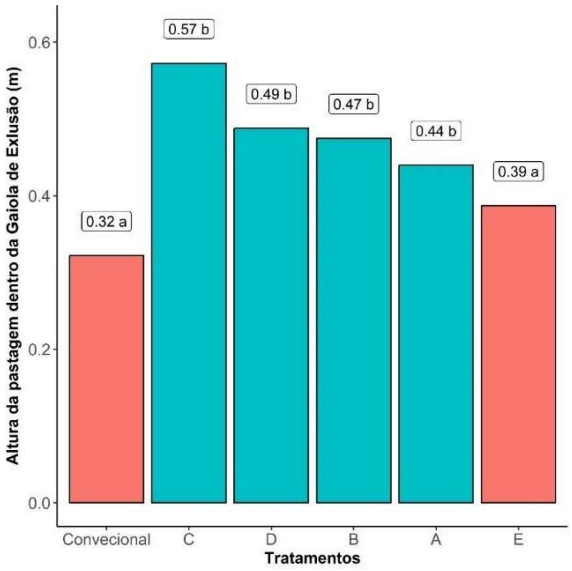
O incremento da produtividade observado nas pastagens silvipastoris, em comparação ao sistema convencional, reflete uma alternativa importante para reduzir os impactos negativos da pecuária extensiva e do desmatamento, ao mesmo tempo que contribui para a sustentabilidade ambiental. A adoção de práticas agroflorestais, como o sistema silvipastoril, é fundamental para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e melhorar a resiliência das pastagens (Casanova-Lugo *et al.*, 2022; Agethen *et al.*, 2024).

5.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão

A comparação múltipla pelo teste de Dunnett para altura da pastagem dentro da Gaiola (Figura 8) mostrou que os Subtratamentos A, B, C e D apresentaram alturas significativamente maiores do que o sistema Convencional. Os valores de p foram 0,0480 para A, 0,0052 para B, <0,0001 para C e 0,0020 para D. Já o subsistema E não diferiu significativamente do sistema Convencional (p = 0,4846). Esses resultados indicam que os sistemas A, B, C e D favorecem

maior altura da pastagem dentro da gaiola em comparação ao sistema Convencional, enquanto o sistema E não apresenta diferença estatística ($p > 0,05$).

Figura 8 – Médias de Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).

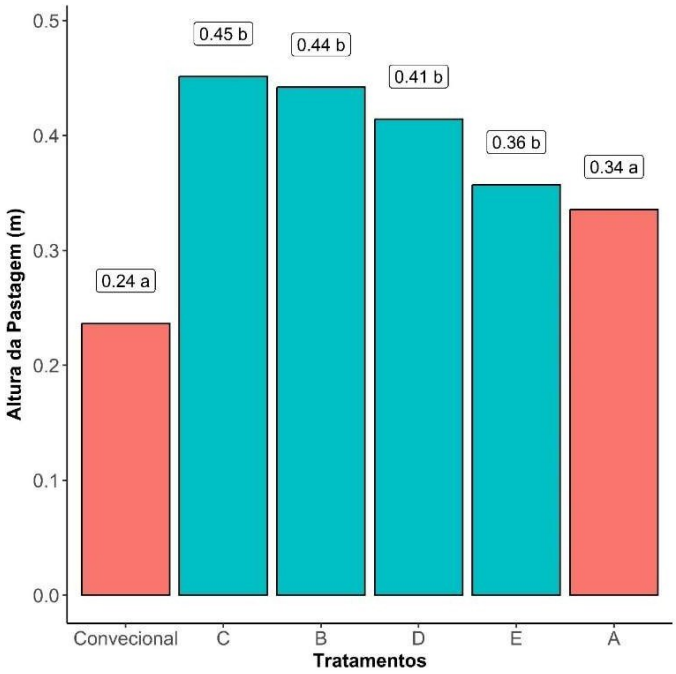


Fonte: elaboração própria.

Com relação à estação, a altura média da pastagem dentro da Gaiola de exclusão foi de 0,52 m no inverno e foi de 0,37 m no Verão.

Foi observado efeito significativo tanto dos Tratamentos ($p < 0,001$; Figura 9) e da Estação ($p < 0,001$) sobre a altura da pastagem fora das gaiolas. Os Subtratamentos silvipastoris apresentaram maiores valores de altura do dossel forrageiro em comparação ao sistema convencional, tal resultado pode ser atribuído ao sombreamento parcial promovido pelas árvores. Esse sombreamento induz o alongamento da forragem, especialmente pelo aumento do crescimento entre os entrenós, como uma resposta adaptativa à redução da radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque (Pearcy; Sims, 1994; Alpert; Simms, 2002; Andrade *et al.*, 2004; Gatti; Cornaglia; Re, 2025). Essa estratégia fisiológica visa maximizar a captação de luz, promovendo maior estiolamento das plantas sob condições de menor luminosidade. A interação entre Tratamentos × Estação não foi significativa ($p = 0,774$), o que indica que os efeitos principais foram independentes.

Figura 9 – Médias de Altura da Pastagem (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

Para Altura da Pastagem, de acordo com teste de Dunnett que os Subtratamentos B ($p < 0,0001$), C ($p < 0,0001$), D ($p < 0,0001$) e E ($p = 0,0148$) apresentaram alturas significativamente maiores do que o sistema Convencional ($p < 0,05$). O SubtratamentosA, apesar de apresentar um aumento na altura da pastagem em relação ao sistema Convencional, não mostrou diferença estatisticamente significativa ($p = 0,0626$). Esses resultados sugerem que os Subtratamentos B, C, D e E promovem maior altura da pastagem quando comparados ao sistema Convencional, enquanto o Subtratamentos A não se diferencia estatisticamente (Figura 9).

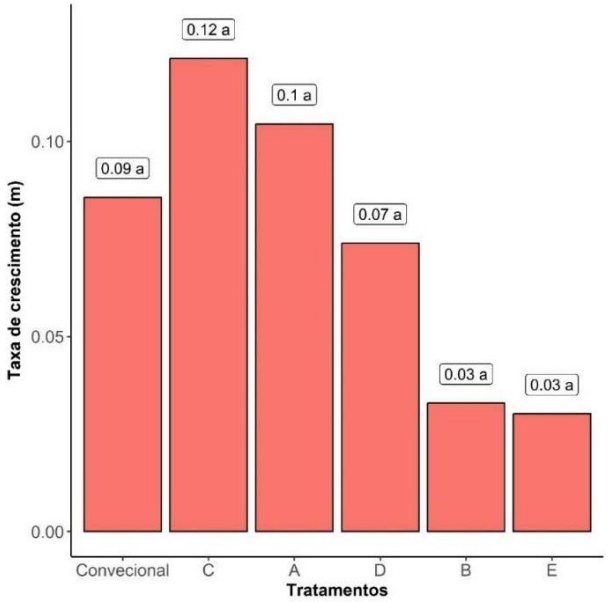
O fator Estação influenciou significativamente a altura da pastagem ($p < 0,0001$), sendo que no Inverno a altura média foi de 0,42 m e no Verão foi de 0,33 m.

5.4 Taxa de Crescimento da forragem

O fator Estação influenciou significativamente a taxa de crescimento da forragem ($p = 0,028$), sendo que no Inverno a taxa de crescimento média foi de 0,10 kg ms e no Verão foi de 0,05 kg ms, enquanto os Tratamentos não apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p= 0,144$) (Tabela 2 e Figura 10). Também não houve interação significativa entre os fatores ($p = 0,989$). A diferença sazonal pode estar associada a fatores climáticos típicos de

cada estação**,** que favorecem o alongamento e a emissão de perfilhos das gramíneas forrageiras (Cruz *et al.*, 2024; Ahler *et al.*, 2025).

Figura 10 – Médias de Taxa de Crescimento da pastagem (m) nos Tratamentos Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E).



Fonte: elaboração própria.

A ausência de significância entre os tratamentos indica que, independentemente do manejo adotado, as condições ambientais foram determinantes para o crescimento da pastagem, superando os efeitos dos diferentes sistemas utilizados (Figura 10). De modo semelhante, a ausência de interação entre estação e tratamentos demonstra que os efeitos sazonais foram consistentes entre todos os tratamentos, com maior taxa de crescimento no inverno ocorrendo de forma generalizada, sem depender do tipo de manejo aplicado. Esses resultados reforçam a necessidade de se considerar o fator climático como elemento central no planejamento do pastejo e no dimensionamento das áreas de suporte animal ao longo do ano. Diante disso, estratégias de manejo da pastagem devem ser adaptadas à sazonalidade climática (Wilmer *et al.*, 2025), adotando-se práticas que otimizem o aproveitamento do crescimento forrageiro no inverno e minimizem as limitações no verão, como sombreamento estratégico (Braden; Aide, 2024; Wales, 2024).

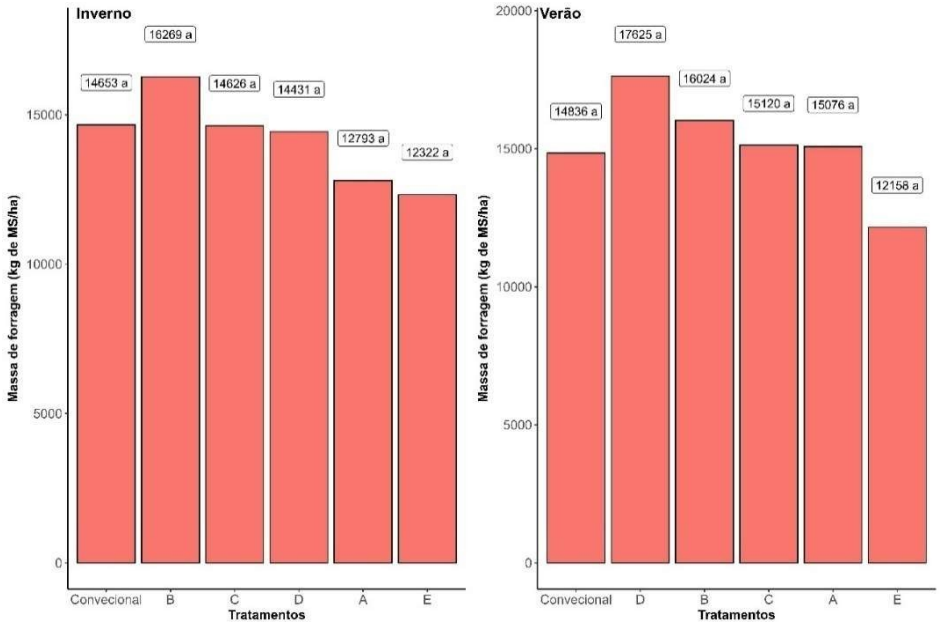
5.5 Comparando os Subtratamentos A, B, C, D e E × Sistema convencional em cada estação (inverno e verão)

5.5.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem

Não houve efeito significativo do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a produtividade de matéria seca (MF) em nenhuma das estações do ano (P>0,05) (Figura 11). No Inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de -1861, com intervalo de confiança de 95% entre -6712 e 2991 (p = 0,7877). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de -1616, com intervalo entre -3235 e 6468 (p = 0,8642). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de -27 (IC 95%: -4879 a 4824; p = 1,0000). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de -222, com intervalo entre -5074 e 4629 (p = 1,0000). Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -2331 (IC 95%: -7183 a 2520; p = 0,6145; Figura 11).

No Verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 239, com intervalo de confiança de 95% entre -6698 e 7177 (p = 1,0000). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 1188, com intervalo entre -5749 e 8125 (p = 0,9906). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 283 (IC 95%: - 6654 a 7221; p = 1,0000). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 2788, com intervalo entre -4149 e 9726 (p = 0,7569). Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -2678 (IC 95%: -9615 a 4259; p = 0,7838; Figura 11).

Figura 11 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Massa de Forragem - MF (kg de MS/ha).



Fonte: elaboração própria.

A média precipitação e as temperaturas elevadas do verão favoreceram o crescimento da *U. decumbens* em ambos os sistemas (silvipastoril e controle), o que pode ter reduzido as vantagens do SSP em relação ao sistema convencional (Figura 11). Esses efeitos climáticos podem ter proporcionado um ambiente de crescimento mais favorável para a pastagem, reduzindo as diferenças entre os tratamentos. A uniformidade na produção de massa seca observada entre os sistemas durante o verão sugere que, em condições de alta precipitação e temperaturas mais altas, os efeitos benéficos do sistema silvipastoril podem ser atenuados.

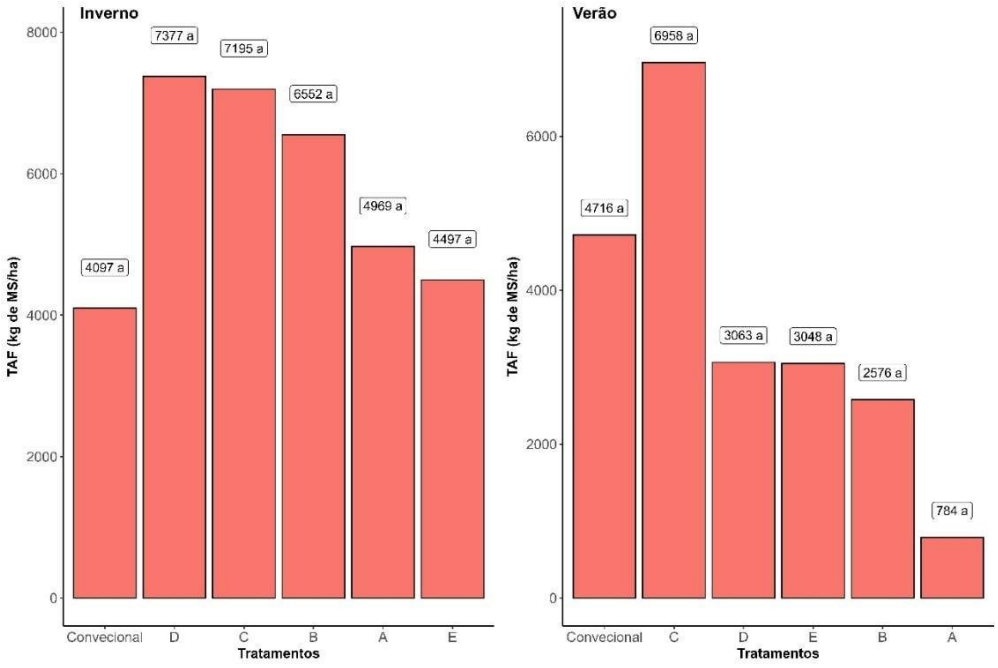
Além disso, a redução moderada de chuvas e temperaturas no outono parece ser suficiente para manter a produção equilibrada entre os dois sistemas. Essa condição climática intermediária proporciona uma vantagem em termos de uniformidade no desempenho das pastagens, sem que o sistema silvipastoril se destaque significativamente em comparação ao controle. Esses achados indicam que, embora o SSP possa oferecer benefícios em termos de microclima, condições climáticas específicas, como as do outono, podem resultar em um desempenho equilibrado entre os sistemas, sem vantagens marcantes para o sistema silvipastoril.

Não houve efeito estatisticamente significativo dos sistemas Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores-p > 0,05 (Figura 12). No Inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 872,

com intervalo de confiança de 95% entre -5857 e 7600 (p = 0,9974). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 2455, com intervalo entre -4274 e 9183 (p = 0,8179). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 3098 (IC 95%: -3631 a 9827; p = 0,6519). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 3280, com intervalo entre -3449 e 10009 (p = 0,6020). O sistema Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 400 (IC 95%: -6329 a 7129; p = 0,9999).

No verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de -3932, com intervalo de confiança de 95% entre -13178 e 5314 (p = 0,7131). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de -2140, com intervalo entre -11386 e 7106 (p = 0,9647). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 2242 (IC 95%: -7004 a 11488; p = 0,9575). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de - 1653, com intervalo entre -10899 e 7593 (p = 0,9883). Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -1668 (IC 95%: -10914 a 7578; p = 0,9878; Figura 12).

Figura 12 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha).



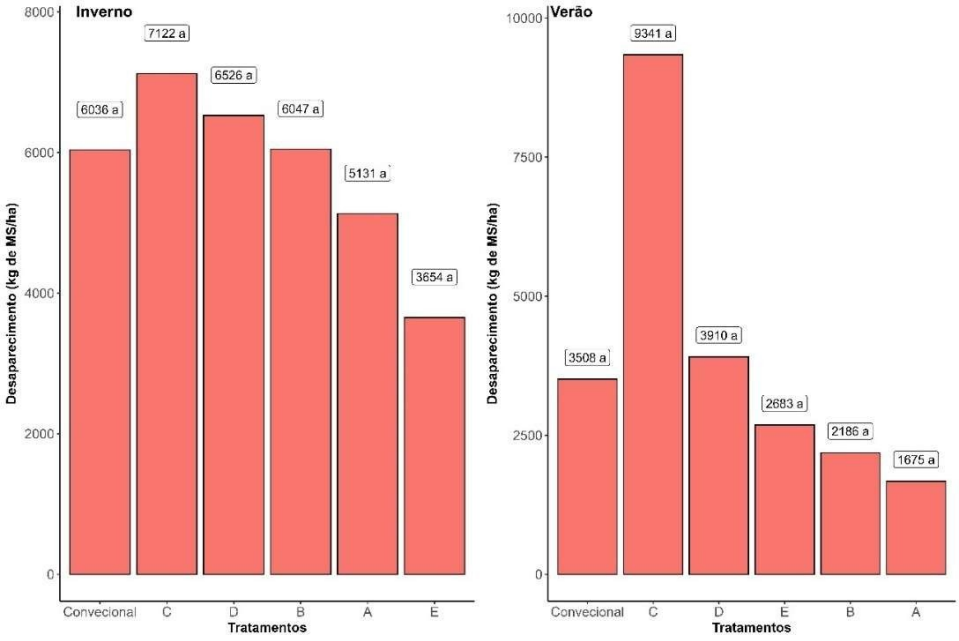
Fonte: elaboração própria.

Não houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre o Desaparecimento (kg de MS/ha) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores-p > 0,05 (Figura 13). No Inverno, a comparação do

tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de -905, com intervalo de confiança de 95% entre -10307 e 8496 (p = 0,9994). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 11, com intervalo entre -9390 e 9412 (p = 1,0000). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 1087 (IC 95%: -8314 a 10488; p = 0,9985). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 491, com intervalo entre -8910 e 9892 (p = 1,0000). Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -2381 (IC 95%: --11783 a 7019; p = 0,9503).

No verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de -1833, com intervalo de confiança de 95% entre -10246 e 6580 (p = 0,9731). O Convencional × Subsistema B teve estimativa de -1322, com intervalo entre -9735 e 7091 (p = 0,9936). Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 5832 (IC 95%: -2580 a 14245; p = 0,2720). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 402, com intervalo entre -8011 e 8814 (p = 1,0000). Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -825 (IC 95%: -9238 a 7587; p = 0,9993; Figura 13).

Figura 13 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para o Desaparecimento (kg/ha).



Fonte: elaboração própria.

5.5.2 Taxa de Lotação

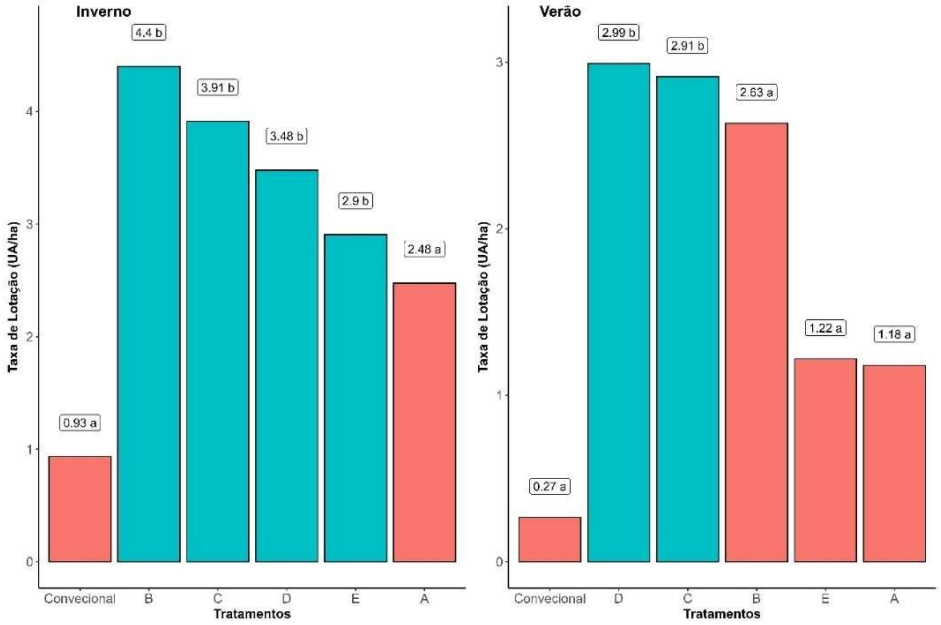
Houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a TL (Taxa de Lotação - UA/ha) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05 (Figura 14).

No Inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 1,55, com intervalo de confiança de 95% entre -0,42 e 3,50 (p = 0,1730), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 3,47, com intervalo entre 1,51 e 5,43 (p = 0,0001), indicando diferença significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 2,98 (IC 95%: 1,02 a 4,94; p = 0,0009), também com significância. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 2,55, com intervalo entre 0,58 e 4,51 (p = 0,0057), sendo significativo. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 1,97 (IC 95%: 0,01 a 3,93; p = 0,0485), também com diferença estatística (Figura 14).

No verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,91, com intervalo de confiança de 95% entre -1,55 e 3,37 (p = 0,8081), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 2,37, com intervalo entre -0,10 e 4,83 (p = 0,0638), também não significativo. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 2,65 (IC 95%: 0,19 a 5,11; p = 0,0304), indicando diferença estatisticamente significativa. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 2,73, com intervalo entre 0,26 e 5,19 (p = 0,0241), também significativo. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 0,95 (IC 95%: -1,51 a 3,41; p = 0,7829), sem diferença estatística (Figura 14).

Embora o efeito da precipitação não tenha sido diretamente abordado nos resultados apresentados (Figura 14), estudos sugerem que a precipitação é um fator climático fundamental que impacta diretamente a produção de massa seca de *U. decumbens*. De acordo com Qiao *et al.* (2024), a água da chuva é essencial para os processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese e o transporte de nutrientes, e sua variação ao longo do ano pode influenciar a produção de biomassa.

Figura 14 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TL (Taxa de Lotação - UA/ha).



Fonte: elaboração própria.

Os resultados observados neste estudo, embora não indiquem uma correlação direta com a precipitação, indicam uma relação potencial com as flutuações sazonais, pois, em meses de menor precipitação, como o Verão, a taxa de lotação e a altura da pastagem mostraram variações significativas, enquanto os Subtratamentos não apresentaram diferenças claras na produção de massa de forragem. Isso pode estar relacionado ao fato de que, em períodos de seca, a redução de água disponível para as plantas pode aumentar a produção devido a estratégias adaptativas das forrageiras que lidam com estresse hídrico moderado, como ocorre na *U. decumbens*.

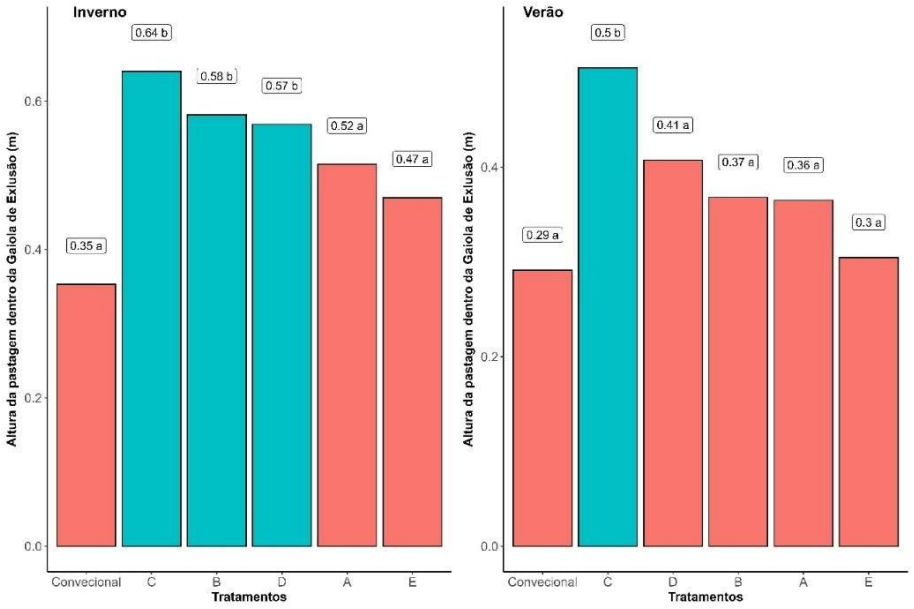
No estudo de Casanova-Lugo *et al.* (2022), a maior produção de forragem de *Brachiaria brizantha* foi observada em junho (um mês com menor precipitação), enquanto a menor produção ocorreu em setembro, período de maior precipitação. Esses resultados sugerem que a chuva pode regulamentar a biomassa e que picos de produção de massa seca frequentemente coincidem com períodos de menor precipitação, o que pode estar associado a fatores como saturação hídrica, limitações no desenvolvimento radicular ou estratégias de adaptação das espécies forrageiras ao estresse hídrico.

Esse padrão de resposta à precipitação reforça a importância de considerar as características edafoclimáticas locais no planejamento de sistemas forrageiros, pois o desempenho das forrageiras pode ser profundamente influenciado pela interação de fatores ambientais e sazonais, como a disponibilidade de água e a temperatura.

5.5.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão

Houve efeito estatisticamente significativo dos sistemas Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05 (Figura 15). No Inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,16, com intervalo de confiança de 95% entre -0,01 e 0,33 (p = 0,0606), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 0,23, com intervalo entre 0,06 e 0,40 (p = 0,0032), indicando diferença significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,29 (IC 95%: 0,12 a 0,45; p = 0,0001), também com significância. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 0,22, com intervalo entre 0,05 e 0,38 (p = 0,0060), sendo significativo. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 0,12 (IC 95%: -0,05 a 0,28; p = 0,2635), sem diferença estatística significativa (Figura 15). No verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,07, com intervalo de confiança de 95% entre -0,07 e 0,22 (p = 0,5475), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 0,08, com intervalo entre -0,06 e 0,22 (p = 0,5091), também não significativo. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,21 (IC 95%: 0,07 a 0,35; p = 0,0011), indicando diferença estatisticamente significativa. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 0,12, com intervalo entre -0,02 e 0,26 (p = 0,1506), sem significância estatística. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 0,01 (IC 95%: -0,13 a 0,16; p = 0,9995), sem diferença estatística (Figura 15).

Figura 15 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m).



Fonte: elaboração própria.

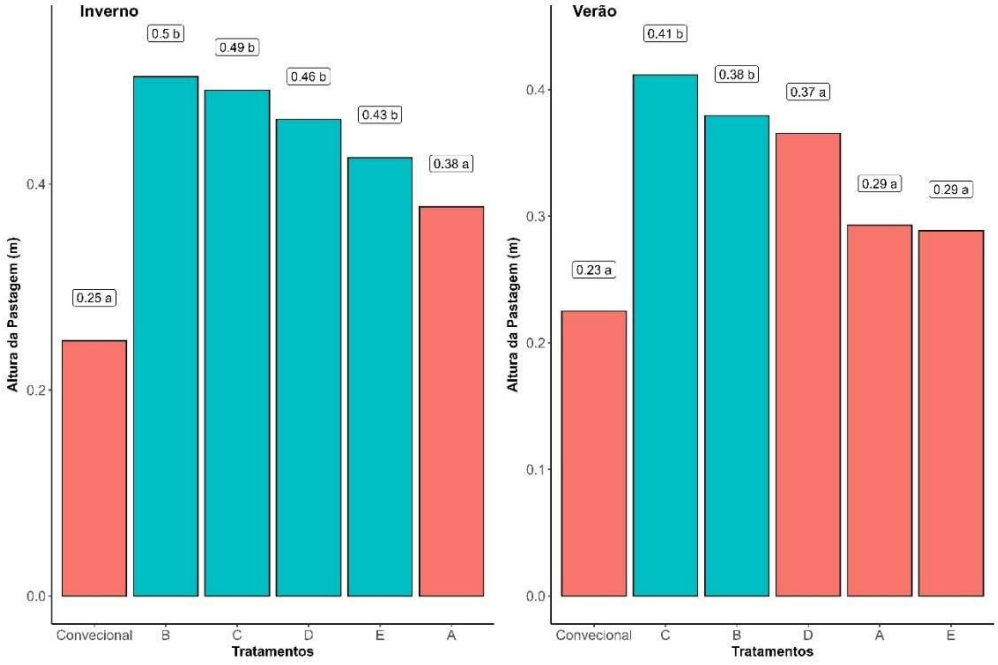
Houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a Altura da Pastagem (m) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05 (Figura 16).

No Inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,13, com intervalo de confiança de 95% entre -0,01 e 0,27 (p = 0,0781), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 0,26, com intervalo entre 0,12 e 0,40 (p < 0,0001), indicando diferença estatisticamente significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,24 (IC 95%: 0,10 a 0,38; p = 0,0001), também com significância. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 0,22, com intervalo entre 0,07 e 0,36 (p = 0,0008), estatisticamente significativo. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 0,18 (IC 95%: 0,04 a 0,32; p = 0,0072), também com diferença significativa (Figura 16).

Durante o verão, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,07, com intervalo de confiança de 95% entre -0,08 e 0,21 (p = 0,6318), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de 0,15, com intervalo entre 0,01 e 0,30 (p = 0,0315), indicando diferença estatisticamente significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,19 (IC 95%: 0,04 a 0,33; p = 0,0061), também significativa. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 0,14, com intervalo entre -0,00 e 0,28 (p = 0,0591), sem significância estatística. Por fim, o

Convencional × Subsistema E obteve estimativa de 0,06 (IC 95%: -0,08 a 0,21; p = 0,6897), igualmente sem diferença significativa (Figura 16).

Figura 16 – Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da Pastagem (m).



Fonte: elaboração própria.

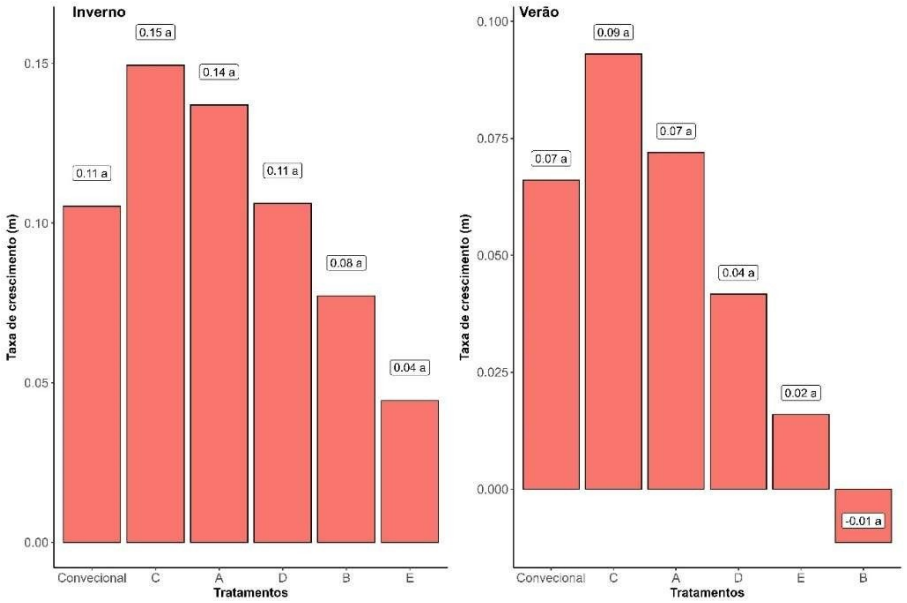
5.5.4 Taxa de Crescimento

Não houve efeito estatisticamente significativo dos sistemas Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) sobre a Taxa de Crescimento (m) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores-p > 0,05 (Figura 17). Durante o inverno, a comparação do tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,03, com intervalo de confiança de 95% entre -0,16 e 0,23 (p = 0,9924), sem significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de -0,03, com intervalo entre -0,22 e 0,17 (p = 0,9957), também não significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,04 (IC 95%: -0,15 a 0,24; p = 0,9679), sem significância. O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de 0,00, com intervalo entre -0,19 e 0,20 (p = 1,0000), também não significativa. Por fim, o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -0,06 (IC 95%: -0,26 a 0,13; p = 0,8903), igualmente sem diferença estatística (Figura 17).

No verão, o tratamento Convencional × Subsistema A apresentou uma estimativa média de efeito de 0,01, com intervalo de confiança de 95% entre -0,11 e 0,12 (p = 1,0000), sem

significância estatística. O Convencional × Subsistema B teve estimativa de -0,08 (IC 95%: -0,19 a 0,04; p = 0,2995), também sem diferença significativa. Para o Convencional × Subsistema C, a estimativa foi de 0,03 (IC 95%: -0,09 a 0,14; p = 0,9637). O Convencional × Subsistema D apresentou estimativa de -0,02, com intervalo entre -0,14 e 0,09 (p = 0,9762). Já o Convencional × Subsistema E obteve estimativa de -0,05 (IC 95%: -0,17 a 0,07; p = 0,6984). Nenhuma das comparações apresentou significância estatística (Figura 17).

Figura 17– Comparação do sistema Convencional × Subtratamentos (A, B, C, D e E) nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Taxa de Crescimento (m).



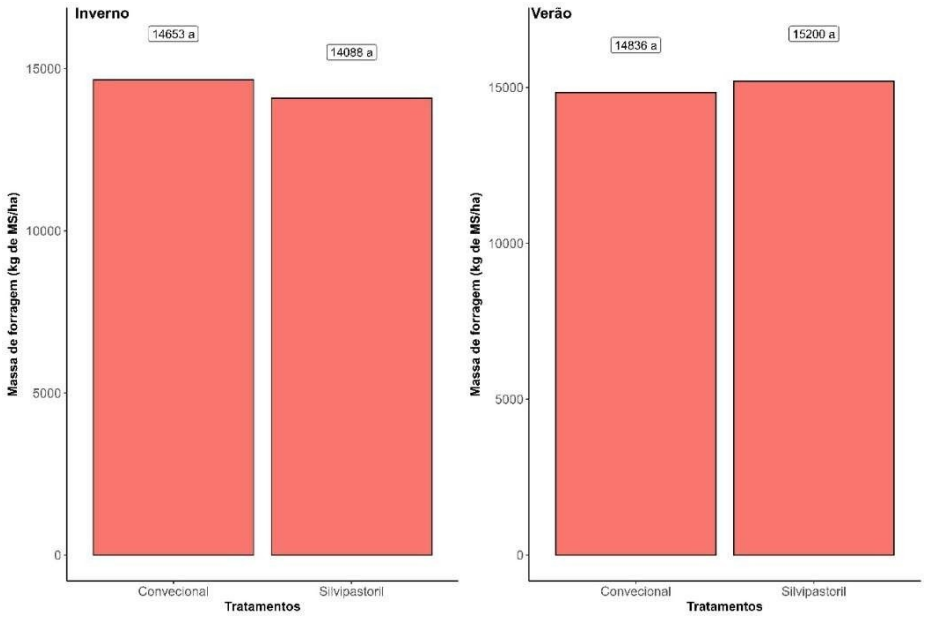
Fonte: elaboração própria.

5.6 Comparando a média do sistema silvipastoril × sistema convencional em cada estação (inverno e verão)

5.6.1 Massa, taxa de acúmulo e desaparecimento de forragem

Não houve efeito estatisticamente significativo do sistema Silvipastoril sobre a produção de matéria seca (MF) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores -p > 0,05. No Inverno, a diferença média foi de –565 kg de MS/ha entre o sistema Silvipastoril e Convecional (IC: –3504 a 2374; p = 0,7038), enquanto no Verão, a diferença foi de 364 kg de MS/ha (IC: –3816 a 4544; p = 0,8632), evidenciando ausência de significância estatística em ambos os casos (Figura 18).

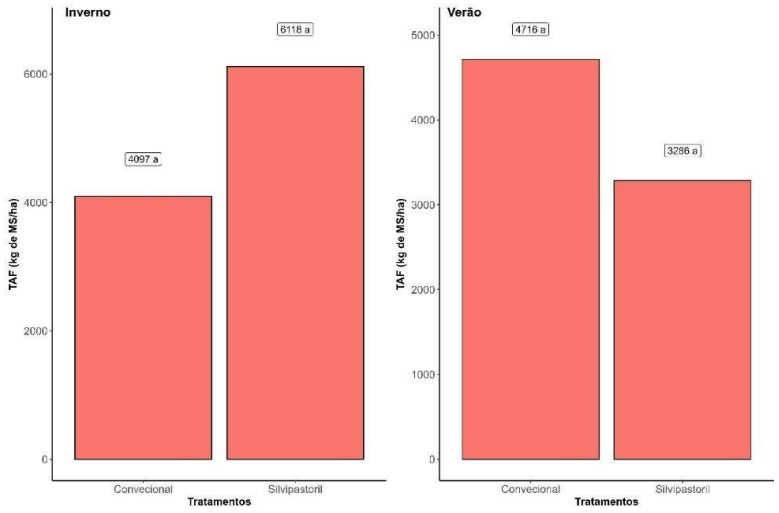
Figura 18 – Comparação da média do sistema Convencional × Subtratamentos nas estações do ano para a Massa de Forragem - MF (kg de MS/ha).



Fonte: elaboração própria.

Não houve efeito estatisticamente significativo do sistema Silvipastoril sobre a Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores -p > 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de 2021, com intervalo de confiança de 95% entre -1989 e 6031 (p = 0,3200). Não houve diferença estatisticamente significativa. No verão, a estimativa média foi de -1430, com intervalo de confiança entre -6957 e 4096 (p = 0,6083), também sem significância estatística (Figura 19).

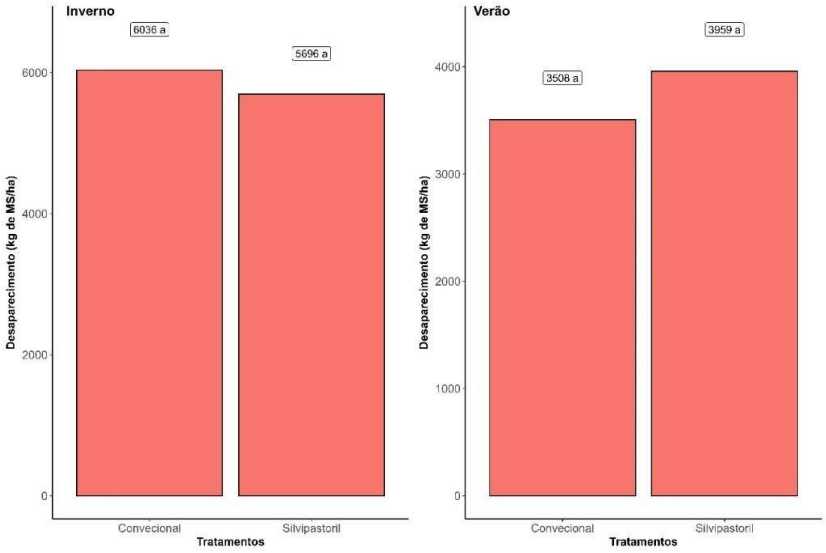
Figura 19 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TAF (Taxa de Acúmulo de Forragem - kg de MS/ha).



Fonte: elaboração própria.

Não houve efeito estatisticamente significativo do sistema Silvipastoril sobre Desaparecimento (kg de MS/ha) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores -p > 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de -340, com intervalo de confiança de 95% entre -5918 e 5239 (p = 0,9041). Não houve diferença estatisticamente significativa. No verão, a estimativa média foi de 451, com intervalo de confiança entre -4685 e 5586 (p = 0,8622), também sem significância estatística (Figura 20).

Figura 20 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para o Desaparecimento (kg/ha).

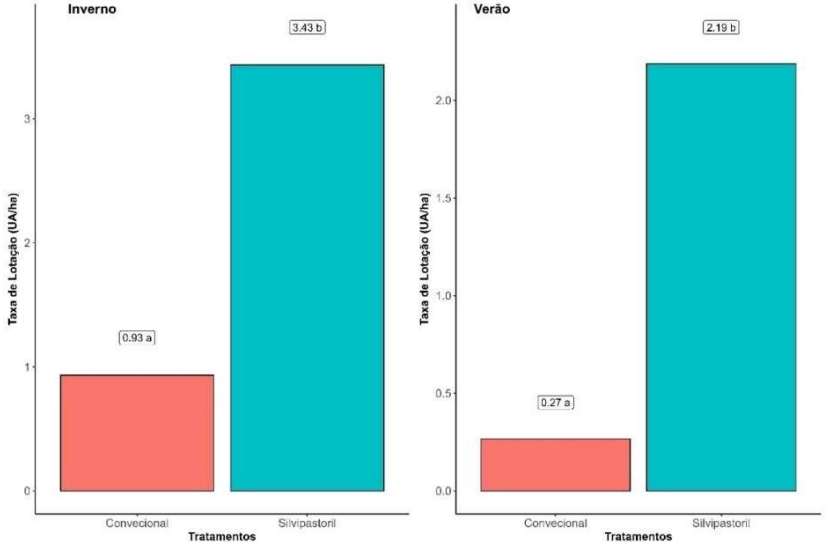


Fonte: elaboração própria.

5.6.2 Taxa de Lotação

Houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Silvipastoril sobre a Taxa de Lotação (UA/ha) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de 2,50, com intervalo de confiança de 95% entre 1,30 e 3,70 (p = 0,0001), com efeito significativo. No verão, a estimativa média foi de 1,92, com intervalo de confiança entre 0,42 e 3,42 (p = 0,0128), também com significância estatística (Figura 21).

Figura 21 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a TL (Taxa de Lotação - UA/ha).

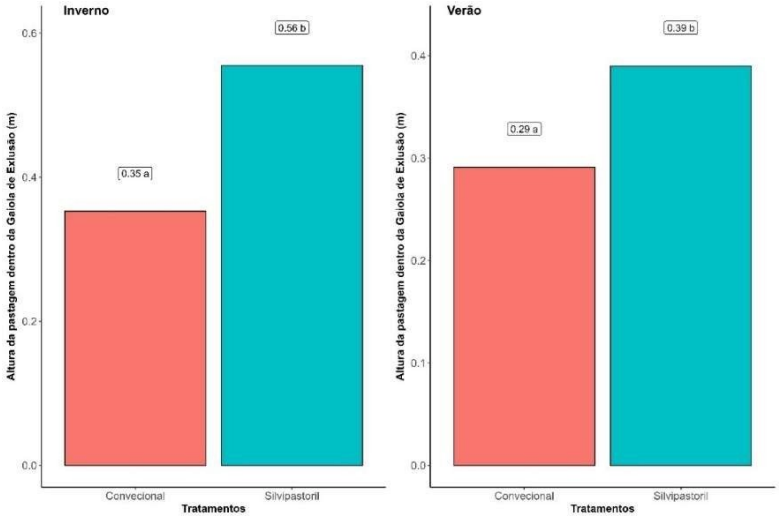


Fonte: elaboração própria.

5.6.3 Altura da pastagem dentro e fora da Gaiola de Exclusão

Houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Silvipastoril sobre a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de 0,20, com intervalo de confiança de 95% entre 0,10 e 0,30 (p = 0,0002), com efeito significativo. No verão, a estimativa média foi de 0,10, com intervalo de confiança entre 0,01 e 0,19 (p = 0,0316), também com significância estatística (Figura 22).

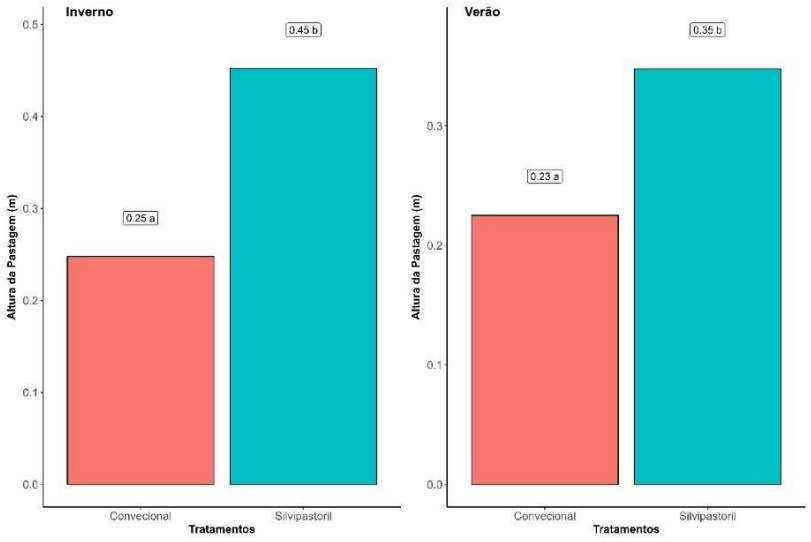
Figura 22 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da pastagem na Gaiola de Exclusão (m).



Fonte: Autor (2025)

Houve efeito estatisticamente significativo do sistema Convencional × Silvipastoril sobre a Altura da Pastagem (m) nas duas estações do ano, com ambos os valores-p ≤ 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de 0,20, com intervalo de confiança de 95% entre 0,12 e 0,29 (p < 0,0001), com efeito significativo. No verão, a estimativa média foi de 0,12, com intervalo de confiança entre 0,03 e 0,21 (p = 0,0069), também com significância estatística (Figura 23).

Figura 23 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Altura da Pastagem (m).

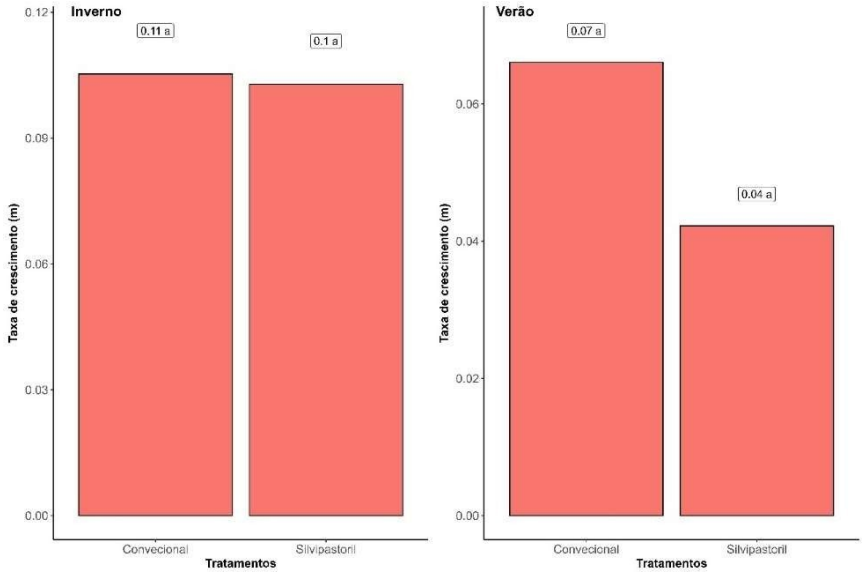


Fonte: elaboração própria.

5.6.4 Taxa de Crescimento

Não houve efeito estatisticamente significativo do sistema Silvipastoril sobre a Taxa de Crescimento (m) em nenhuma das estações do ano, com ambos os valores-p > 0,05. No Inverno, a comparação entre os sistemas Convencional × Silvipastoril apresentou uma estimativa média de efeito de -0,01, com intervalo de confiança de 95% entre -0,12 e 0,11 (p = 0,9669). Não houve diferença estatisticamente significativa. No verão, a estimativa média foi de -0,03, com intervalo de confiança entre -0,09 e 0,05 (p = 0,5031), também sem significância estatística (Figura 21).

Figura 21 – Comparação da média do sistema Convencional × Silvipastoril nas estações do ano (Inverno e Verão) para a Taxa de Crescimento (m).



Fonte: elaboração própria.

A ausência de diferenças significativas na maioria das variáveis analisadas, como massa de forragem, taxa de acúmulo de forragem e taxa de lotação, pode estar relacionada à capacidade adaptativa da *U. decumbens* aos diferentes tipos de manejo, mantendo a produtividade mesmo sob condições climáticas e de manejo variadas (Marins *et al.*, 2023; Tarekegn *et al.*, 2023; Sokupa *et al.*, 2024). Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas neste estudo, *U. decumbens* apresenta uma alta estabilidade produtiva, independentemente do manejo aplicado, sugerindo que a planta é capaz de se adaptar bem a sistemas de manejo silvipastoril ou convencional, sem comprometer seu rendimento. Esse comportamento pode ser um indicativo de que, embora diferentes manejos sejam testados, a

forrageira pode atingir níveis semelhantes de produtividade devido à sua resiliência a variações de manejo e clima.

5.7 Componente arbóreo

Em relação ao componente arbóreo do sistema silvipastoril, o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores de *Eucalyptus grandis* (clone) apresentou média de 11,7 cm, com desvio padrão de 1,40 cm, variando de 9,0 cm a 16,0 cm (Tabela 3). A altura média das árvores (Ht) foi de 17,8 m, com desvio padrão de 3,29 m, e variação entre 11,4 m e 26,4 m. O volume médio por árvore (vol/arv) foi de 0,0775 m³, com desvio padrão de 0,0239 m³, oscilando entre 0,0341 m³ e 0,138 m³. Já o volume por hectare (vol/ha) atingiu uma média de 23,1 m³, com desvio padrão de 7,10 m³, variando de 10,2 m³ a 41,1 m³. A quantidade de CO_2 armazenada por hectare (tCO_2/ha) foi, em média, de 18,1 tCO_2/ha, com desvio padrão de 5,58 tCO_2/ha, variando de 8,0 tCO_2/ha a 32,3 tCO_2/ha. Por fim, a unidade animal por hectare por ano (UA/ha/ano) apresentou média de 2,77, com desvio padrão de 0,852, variando entre 1,20 e 4,90.

Tabela 3 – Crescimento (DAP e Ht) e estimativas de produção (m³), de captura CO_2 e de número de unidades-animal (UA) que poderiam ter a emissão de metano entérico compensada (UA/ha/ano) pelas árvores de *Eucalyptus urophylla* (clone 1404), aos 40 meses de idade, no sistema silvipastoril. Fazenda Gravatá, Teodoro Sampaio/BA (2024).

	DAP (cm)	**Ht (m)**	**Vol/arv (m³)**	**Vol/ha (m³)**	**tCO_2/ha**	**UA/ha/ano**
VolN	105	105	105	105	105	105
Média	11.7	17.8	0.775	23.1	18.1	2.77
Erro-padrão da média	0.136	0.321	0.00233	0.693	0.544	0.0831
95% IC média limite inferior	11.4	17.2	0.0729	21.7	17.0	2.60
95% IC média limite superior	11.9	18.4	0.0822	24.5	19.2	2.93
Desvio-padrão	1.40	3.29	0.0239	7.10	5.58	0.852
Mínimo	9.00	11.4	0.0341	10.2	8.00	1.20
Máximo	16.0	26.4	0.138	41.1	32.3	4.90

Fonte: elaboração própria.
Nota**:** O IC da média assume que a distribuição amostral da média segue uma distribuição t com N-1 graus de liberdade.

Os resultados indicam que as árvores de eucalipto no sistema silvipastoril apresentam uma variabilidade significativa em termos de tamanho e sequestro de carbono, o que é típico de árvores jovens, conforme mencionado na tabela, que utiliza um fator de forma (Ff) de 0,4 para eucaliptos jovens. A variabilidade no diâmetro (DAP) e na altura (Ht) sugere que as árvores

ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento, o que significa que ainda não atingiram seu pleno potencial de crescimento. No contexto de sistemas silvipastoris, o crescimento do eucalipto é influenciado por diversos fatores, incluindo o arranjo espacial e a densidade de plantio. Estudos demonstram que, em arranjos mais adensados, como 3,33 m x 2 m, o incremento médio anual em volume por hectare (IMAVol/ha) pode atingir valores entre 11,14 e 12,5 m^3/ha, enquanto arranjos mais amplos, como 10 m x 4 m, favorecem o crescimento em diâmetro e altura das árvores, atingindo alturas superiores a 22 m aos quatro anos de idade (Oliveira *et al.*, 2009; Vera *et al.*, 2022). Esses dados sugerem que o crescimento anual do eucalipto em sistemas silvipastoris pode variar significativamente, dependendo das condições específicas de manejo e do arranjo espacial adotado.

O sequestro de carbono no sistema, com uma média de 18,1 tCO_2/ha, é um indicativo positivo da capacidade do sistema de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente por meio das árvores de eucalipto, que desempenham um papel crucial na captura de carbono da atmosfera. De acordo com o IPCC (2006), o sequestro de carbono pode ser influenciado por uma série de fatores, como o tipo de vegetação, o crescimento das plantas e as condições ambientais, o que é refletido pela variabilidade observada no valor de 5,58 tCO_2/ha de desvio padrão. Essa variação sugere que o desempenho do sistema em termos de captura de carbono não é homogêneo e pode ser fortemente afetado por características locais, como o solo, a disponibilidade de água e a gestão das áreas. O IPCC (2006) reconhece que, para avaliar adequadamente o impacto do sequestro de carbono, é essencial considerar essas variabilidades, pois elas influenciam diretamente as estimativas de neutralização de CO_2 e as políticas de mitigação. Assim, a adoção de práticas de manejo que maximizem o potencial de sequestro em áreas com menor capacidade pode aumentar ainda mais a eficácia do sistema no combate às mudanças climáticas.

Balehgn *et al.* (2021) sugerem que os Sistemas Silvipastoris (SPS) podem influenciar positivamente a produtividade, ao mesmo tempo em que reduzem tanto as emissões totais de gases de efeito estufa (como dióxido de carbono - CO_2, metano - CH_4 e óxidos de nitrogênio - NO_x) quanto a intensidade dessas emissões. Além disso, Rosenzweig *et al.* (2020) demonstraram que os SPS têm um elevado potencial para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, principalmente pela sua capacidade de aumentar a captura de carbono pelas árvores e promover um manejo mais sustentável do solo e da vegetação.

Em termos de produtividade em relação ao volume por hectare (vol/ha) e à unidade animal por hectare por ano (UA/ha/ano), o sistema apresenta uma produção moderada a alta de biomassa, com alguma variação entre as parcelas. Essa variação pode ser atribuída a diferenças

na qualidade do solo, nas práticas de manejo ou em outros fatores ecológicos, como precipitação e temperatura.

Os sistemas silvipastoris apresentam um estoque médio de 2,77 tCO_2 eq/ha, valor relevante no contexto de sequestro de carbono em áreas produtivas (Tabela 3). Esse estoque representa a capacidade do sistema capturar CO_2 atmosférico por meio da biomassa arbórea (troncos, galhos e raízes), contribuindo significativamente para a mitigação parcial das emissões geradas pela atividade pecuária.

Além disso, a alta eficiência produtiva dos sistemas silvipastoris é evidenciada pela taxa de lotação de 2,8 unidades animais (UA) por hectare, o que indica intensificação da produção sem necessidade de expansão de novas áreas. Essa combinação de carbono atmosférico reforça o papel dos sistemas silvipastoris como alternativa sustentável frente ao modelo convencional de produção extensiva, que contribui significativamente para as emissões líquidas de gazes de efeito estufa GEE (Yadav *et al.*, 2019; Mavisoy *et al.*, 2024).

A descarbonização da pecuária, portanto, passa pela adoção de sistemas integrados e regenerativos, como os sistemas silvipastoris, que permitem a redução da pegada de carbono por unidade de produto (kg de carne ou leite), ao mesmo tempo em que promovem recuperação ambiental, aumento da biodiversidade e melhoria da qualidade do solo (Silva, V. *et al.*, 2024).

Em relação à sustentabilidade agroflorestal, as árvores de eucalipto contribuem positivamente para a sustentabilidade do sistema silvipastoril ao aumentar a biomassa e melhorar o sequestro de carbono. Esse benefício pode ser particularmente importante para mitigar os impactos ambientais negativos associados à pecuária extensiva tradicional. Os resultados sugerem que, quando corretamente integradas aos sistemas silvipastoris, as árvores de eucalipto podem proporcionar um duplo benefício, como promover a produção de pastagem e atuar como uma ferramenta para mitigação das mudanças climáticas.

Alguns autores apontam desafios e problemas nos sistemas silvipastoris, como a competição entre as árvores e as pastagens por água, nutrientes e luz, o que pode resultar em menor acúmulo de biomassa (Lopez-Díaz *et al.*, 2009; Gargaglione; Peri; Rubio, 2014). Além disso, a produção de madeira em sistemas silvipastoris pode ser impactada por danos causados pelo gado, incluindo lesões em galhos e troncos, bem como herbivoria em árvores jovens (Guerreiro; Nicodemo; Porfirio, 2015; Nicodemo; Porfírio-Da-Silva, 2019).

Apesar dos desafios nos sistemas silvipastoris, eles podem contribuir para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como a melhoria dos estoques de carbono do solo, a neutralização da degradação da terra, a promoção da biodiversidade (ODS 15), a mitigação das mudanças climáticas (ODS 13), a segurança alimentar (ODS 2) e a resolução de

conflitos (ODS 16). A escassez de recursos, como terra e forragens, é uma das principais causas de conflitos entre agricultores e pastores na África Ocidental (Ikhuoso *et al.*, 2020). Nesse contexto, o plantio de árvores ou arbustos em áreas de pastoreio pode fornecer forragens na estação seca, ajudando a reduzir esses conflitos.

Os resultados obtidos no presente estudo, evidencia que os Subtratamentos B, C e D pertencentes ao sistema silvipastoril apresentaram taxa de lotação, altura da pastagem e taxa de crescimento, superior ao sistema convencional, principalmente no período seco. Esses resultados sugerem que a integração de árvores ao sistema de pastagem, associada ao manejo rotacionado, favoreceu o desempenho forrageiro, otimizando o uso da área e aumentando a capacidade de suporte animal. Já para outras variáveis como altura e taxa de crescimento, os efeitos não foram consistentes, o que sugere a necessidade de mais investigações para entender melhor os benefícios em diferentes condições climáticas.

Futuras pesquisas podem explorar os efeitos a longo prazo de diferentes tratamentos e Subtratamentos sobre a produção de forragem, especialmente em contextos de mudanças climáticas. A implementação de experimentos em diferentes escalas e locais pode fornecer dados mais robustos sobre a viabilidade dos sistemas intensivos em pastagens.

6 CONCLUSÃO

Os subtratamentos B, C e D, integrantes do sistema silvipastoril, apresentaram desempenho superior ao sistema convencional em termos de taxa de lotação, altura da pastagem e taxa de crescimento, especialmente durante o período seco.

Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas para variáveis como massa de forragem e taxa de desaparecimento da biomassa, a estabilidade desses parâmetros ao longo das estações indica que o sistema silvipastoril não compromete a produtividade forrageira, mesmo sob condições microclimáticas distintas.

A maior altura da pastagem observada nos subtratamentos sombreados destaca a contribuição positiva do sombreamento moderado promovido pelas árvores, atuando como regulador do microclima e favorecendo o desenvolvimento da pastagem.

As árvores de *Eucalyptus urophylla* apresentaram potencial significativo de sequestro de carbono, com variabilidade no volume de madeira por hectare e nas estimativas de CO_2 equivalente capturado.

REFERÊNCIAS

ADEGBEYE, M. J. *et al.* Potential application of experiences from Latin American silvopastoral systems to improve ruminant husbandry in Nigeria: a review. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 1257-1272, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00943-y

AGETHEN, K. *et al.* Future perspectives of Brazilian beef production: what is the role of Silvopastoral systems?. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 1-18, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01005-7

AHLER, S. J. *et al.* Climate change impacts on introduced grass invasion in the prairie pothole region of the united states great plains. **Prairie Naturalist**, v. 2, p. 102-113, 2025.

ALPERT, P.; SIMMS, E. L. The relative advantages of plasticiy and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust? **Evolutionary Ecology**, v. 16, p. 285-297, 2002. https://doi.org/10.1023/A:1019684612767

ALVES, J. G. F. *et al.* Beef cattle finishing systems used in scientific research in Brazil: an integrative review. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte- MG, v. 76, n. 06, 2024. https://doi.org/10.1590/1678-4162-13284

AMORIM, H. C. *et al.* Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 301, p.107060, 2020. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060

ANDRADE, C. M. S. *et al.* Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 263-270, 2004.

ASSANI SEIDOU, A. *et al.* The effect of the silvopastoral system on milk production and reproductive performance of dairy cows and its contribution to adaptation to a changing climate

in the drylands of Benin (West-Africa). **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1236581, 2023. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1236581

BARCELLOS, A. O. *et al.* Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 51-67, 2008.

BALEHEGN, M. *et al.* Livestock sustainability research in Africa with a focus on the environment. **Animal Frontiers**, v. 11, n. 4, p. 47-55, 2021. https://doi.org/10.1093/af/vfab034

BENEGAS, L. *et al.* Positive effects of scattered trees on soil water dynamics in a pasture landscape in the tropics. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 736824, 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.736824/full. Acesso em: 10 mai. 2024.

BENEVENUTE, P. A. N. *et al.* Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106647, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106647

BISWAS, T.; KOLE, S. C. Soil organic matter and microbial role in plant productivity and soil fertility. *In*: ADHYA, T. *et al.* **Advances in soil microbiology**: recent trends and future prospects: Volume 2: Soil-Microbe-Plant Interaction, p. 219-238, 2017. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7380-9_10

BLANCO, H.; LAL, R. Management of grazing lands. *In*: BLANCO, H.; LAL, R. **Soil conservation and management**. Cham: Springer Nature Switzerland. p. 443-469, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_18

BLANCO-SEPÚLVEDA. R.; GÓMEZ-MORENO, M. L.; LIMA, F. An approach to the key soil physical properties for assessing soil compaction due to livestock grazing in mediterranean mountain areas. **Sustainability**, v. 16, n.10, p. 4279, 2024. https://doi.org/10.3390/su16104279

BRITO NETO, J. F. *et al.* Soil health in an integrated production system in a Brazilian Semiarid Region. **Land**, v.12, n. 12, p. 2107, 2023. https://doi.org/10.3390/land12122107

BRADEN, I.; AIDE, M. Best management practices for intensive grazing systems: Southeast Missouri case study. **Agricultural Sciences**, 2024. https://doi.org/10.5772/intechopen.115146

CALIL, F. N. *et al.* Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 38, p. 3701-3709, 2016.

CASANOVA-LUGO, F. *et al.* Effect of tree shade on the yield of *Brachiaria brizantha* grass in tropical livestock production systems in Mexico. **Rangeland Ecology & Management**, v. 80, p. 31-38, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742421001081. Acesso: 22 nov. 2024.

CARADUS, J. R.; CHAPMAN, D. F. Evaluating pasture forage plant breeding achievements: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 68, n. 6, p. 1-75, 2024. https://doi.org/10.1080/00288233.2024.2395370

CARVALHO, R. C. R. *et al.* Método de determinação da disponibilidade de forragem. **Ciência et Praxis**, v. 1, n. 2, p. 7-10, 2008.

CARVALHO, P. *et al.* Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 4, p. 650-660, 2019. https://doi.org/10.1111/gfs.12448

CENTERI, C. Effects of grazing on water erosion. compaction and infiltration on grasslands. **Hydrology**, v. 9, n. 2, p. 34, 2022.

COMIN, J. J. *et al.* A avaliação qualitativa da qualidade do solo é eficiente em um sistema de pastejo com ou sem árvores. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 104, n. 4, p. 1962-1970, 2024.

CRUZ, P. J. R. *et al.* Grazing management of *Megathyrsus maximus* BRS Tamani under shading: Effects of morphogenetic, physiological, and herbage characteristics. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 7, p. 2087-2096, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-024-00991-y

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. S. **Fertilidade do solo em pastagem**: como construir e monitorar. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2021. 24 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 460).

DOGLIOTTI, G. *et al.* Characterizing microenvironmental factors and the forest component in the production of natural grasslands in a silvopastoral system with *Eucalyptus grandis*. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 1-15, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01028-0

FENTA, A. A. *et al.* Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 135016, 2020.

GARGAGLIONE, V. B.; PERI, P. L.; RUBIO, G. Tree–grass interactions for N in Nothofagus antarctica silvopastoral systems: Evidence of facilitation from trees to underneath grasses. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 5, p. 779-790, 2014. https://doi.org/10.1007/s10457-014-9724-3

GATTI, M. L.; CORNAGLIA, P. S.; RE, P. Morphogenetical, structural and functional plastic responses to simultaneous shading and phosphorous shortage during establishment of *Trifolium repens* L. **Agroforestry Systems**, v. 99, p. 41, 2025. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01134-7

GAVRILESCU, M. Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2746, 2021. https://doi.org/10.3390/w13192746

GOMES, I. A. S *et al.* Tree legume enhances livestock performance in a silvopasture system. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 1, p. 358-369, 2021. https://doi.org/10.1002/agj2.20491

GUERREIRO, M.; NICODEMO, M.; PORFIRIO, S. Vulnerability of ten eucalyptus varieties to predation by cattle in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 89, p. 743-749, 2015. https://doi.org/10.1007/s10457-015-9797-7

HUERTAS, S. M. *et al.* Benefits of silvopastoral systems for keeping beef cattle. **Animals**, v.11, n. 4, p. 992, 2021. https://doi.org/10.3390/ani11040992

HERNÁNDEZ, C. *et al.* **Persistence of winter forage grasses in silvopastoral systems:** dynamics of appearance and mortality of tillers under *Eucalyptus* sp. trees and full sunlight. Research Square, (Preprint) p. 1-20, 2024. Disponível em: https://www.researchsquare.com/article/rs-3915356/v1. Acesso em: 25 abr. 26.

IKHUOSO, O. A. *et al.* Climate change and agriculture: the competition for limited resources amidst crop-farmers livestock herding conflict in Nigeria - a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 123104, 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. **IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Kanagawa, Japão: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/. Acesso em: 22 nov. 2024.

JOSE, S.; DOLLINGER. J. Silvopasture: a sustainable livestock production system. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 1-9, 2019. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8

KUMAR, R. *et al.* Agroforestry and its potential for sustainable land management and climate action: a review. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 12, p. 620-629, 2023.

KRÜGER, A. M. *et al.* Ruminant grazing lands in the tropics: silvopastoral systems and tithonia diversifolia as tools with potential to promote sustainability. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1386, 2024. https://doi.org/10.3390/agronomy14071386

LAI, L.; KUMAR. S. A global meta-analysis of livestock grazing impacts on soil properties. **PLoS One**, v. 15, n. 8, p. e0236638, 2020.

LIMA, M. A. *et al.* Evaluation of a long-established silvopastoral Brachiaria decumbens system: plant characteristics and feeding value for cattle. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 9, p. 814-825, 2019.

LIMA, G. K. **Caracterização de vertissolos do nordeste brasileiro**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2014.

LOPEZ-DÍAZ, M. L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1363-1372, 2009.

LU, J. *et al.* Root-induced changes of soil hydraulic properties-A review. **Journal of Hydrology**, v. 589, p. 125203, 2020.

MARINS, M. S. *et al.* Determinação da capacidade de suporte de *Brachiaria decumbens* para bovinocultura leiteira. fazenda Escola–Unig. Piraí. Rio de Janeiro. **Revista Contemporânea**, v. 3. n. 10. p. 18268-18278. 2023.

MAVISOY, H. *et al.* Using silvopastoral systems for the mitigation of greenhouse gas emissions from livestock in the Colombian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 2, p. 337-352, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00912-5

MEDEIROS, S. R. *et al.* Modeling enteric methane emission from beef cattle in Brazil: a proposed equation performed by principal component analysis and mixed modeling multiple regression. *In*: LIVESTOCK, CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY CONFERENCE, 2014, Madri. **Proceedings...** Madri: Livestock, Climate Change and Food Security, 2014. 37 p.

MORAES, A. D.; MOOJEN, E. L.; MARASCHIN, G. E. Comparação de métodos de estimativa de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27, 1990. Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: FEALQ, 1990, 332 p.

NETO, R. P. *et al.* Forage accumulation and nutritive value in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. **Crop and Pasture Science**, v. 75, n. 5, 2024. https://doi.org/10.1071/CP24043

NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Bark stripping by cattle in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 305–315, 2019. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0185-y

NWORJI, M. J. Effect of light on pasture productivity and quality in a silvopastoral system. **International Journal of Agricultural, Forestry & Plantation**, v. 3, n. 2, p. 9-38, 2020.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A. **Avaliação do impacto ambiental de sistemas intensivos de produção de carne bovina conduzidos em pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 52 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 14).

OLIVEIRA, T. K. *et al.* Desempenho silcicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em Sistema agrossivilpastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, edição especial, p. 1-9, 2009.

OLIVEIRA, E. B. *et al.* Software para simulação do crescimento, produção, metano e manejo do componente florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *In*: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais [...**] Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 127-133.

OLIVEIRA, A. F. *et al.* Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with *Eucalyptus* and *Urochloa*: Systematic review and meta-analysis. **Livestock Science**, v. 262, p. 104973, 2022.

OSAFO, E. L. K. *et al.* Chemical composition and in vitro gas production of *Brachiaria decumbens* harvested at different stages of growth in the hot humid region. **Online Journal of Animal and Feed Research**, v. 13. n. 4. p. 302-312, 2023.

OYARZABAL, M.; OESTERHELD. M. Assessing multiple limiting factors of seasonal biomass production and N content in a grassland with a year-round production. **Oecologia**, v. 201, n. 3, p. 841-852, 2023. https://doi.org/10.1007/s00442-023-05340-x

PACIULLO, D. S. C. *et al.* Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p.573-579, 2007.

PACIULLO, D. S. C. *et al.* Características produtivas e nutricionais do pasto em Sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropeuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, p.1176-1183, 2011.

PEARCY, R. W.; SIMS, D. A. Photosynthetic acclimation to changing light environments: scaling from the leaf to the whole plant. *In*: CALDWELL, M. M.; PEARCY, R. W. (eds) **Exploitation of environmental heterogeneity by plants**: ecophysiological processes above and below ground. Academic Press, San Diego, Califórnia, EUA, pp. 145-174, 1994. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-155070-7.50010-X

PEREIRA, M. *et al.* Beef cattle production on Piatã grass pastures in silvopastoral systems. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2021.

PERI, P. L. *et al.* Soil erosion rates and nutrient loss in rangelands of Southern Patagonia. *In*: DELLASALA, D. A.; GOLDSTEIN, M. I. **Imperiled**: the encyclopedia of conservation, p. 1-3, 2021.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00183-5

REIS, N. S. *et al.* Shade modifies behavioral and physiological responses of low to medium production dairy cows at pasture in an integrated crop-livestock-forest system. **Animals** v. 11, n. 8, p. 2411, 2021. https://doi.org/10.3390/ani11082411

RIVERA, J. E. *et al.* Efecto de la oferta y el consumo de Tithonia diversifolia en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. **Livestock Research for Rural Development**, v. 27, n. 10, p. 189, 2015.

ROSENZWEIG, C. *et al.* Climate change responses benefit from a global food system approach. **Nature Food**, v. 1, n. 2, p. 94-97, 2020. https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z

QIAO, M. *et al.* Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. **Plants**, v. 13, n. 13, p. 1808, 2024. https://doi.org/10.3390/plants13131808

RODRIGUES, R. D. A. R. *et al.* Crop-livestock-Forest integration systems as a sustainable production strategy in Brazil. *In*: SØNDERGAARD, N.; DE SÁ, C. D.; BARROS-PLATIAU, A. F. **Sustainability challenges of Brazilian agriculture**: governance. inclusion. and innovation. p. 165-182, 2023.

R CORE TEAM. **R**: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. (2025). Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em 24 de janeiro de 2025.

SANTOS. J. V. *et al.* The long-term effects of intensive grazing and silvopastoral systems on soil physicochemical properties. enzymatic activity. and microbial biomass. **Catena**, v. 219. p. 106619. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816222006051?via%3Dihub. Acesso em: 20 ago. 2024.

SILVA. I. A. G. *et al.* Nutritive value and condensed tannins of tree legumes in silvopasture systems. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1. p. 18080, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-68563-9

SILVA, J. A. G. *et al.* Efficiency of desiccation. decomposition and release of nutrients in the biomass of forage plants of the genus *Brachiaria* After Intercropping with sorghum in integrated systems for soybean productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 11, p.1644-1662, 2024. https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2323076

SILVA, V. P. Silvopastoral system for wood production: opportunities and challenges in tropical and subtropical environments. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 7, p. 2325-2335, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01032-4

SOUSA-BARACHO, I. P. *et al.* Assessment for forage grass quality submitted to compaction degrees and nitrogen doses. **Grass Research**, v. 4. n. 1, p. 008, 2024.

SOUZA, V. S. *et al.* Cover crops and soil health in Brazilian agricultural systems. *In*: MENDES, I. C.; CHERUBIN, M. R. **Soil Health Series**: Volume 3 Soil health and sustainable agriculture in Brazil, p. 103-144, 2024. https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch4

SOW, S. *et al.* Sustainable fodder production in South Asia through silvopastoral systems. **Current Science**, v. 126, n. 10, 2024.

SOKUPA, M. *et al.* The nutritive value of *Panicum maximum* and. *Brachiaria brizantha* grass species. **Acta Agriculturae Scandinavica**. **Section A-Animal Science**, v. 73, n. 1-2, p. 1-9, 2024. https://doi.org/10.1080/09064702.2023.2249903

SMITH. J.; PEARCE, B. D.; WOLFE, M. S. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer?. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, n. 1, p. 80-92, 2013.

ŠPIRIĆ. J.; RAMÍREZ. M. I. Silvopastoral systems in local livestock landscapes in Hopelchén. Southern Mexico. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 5, p. 1123-1137, 2024. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00890-8

STEINFELD, J. P. *et al.* Identifying agroforestry characteristics for enhanced nutrient cycling potential in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 362, p. 108828, 2024.

SKORUPA, L. A.; BEHLING, M.; SILVA, V. P. O eucalipto e os desafios para a transferência de tecnologias em sistemas de integração lavoura-pecuária-florestal (ILPF). *In*: OLIVEIRA, E. B. de.; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p.1147-1160.

TADESSE, A.; HAILU, W. Causes and consequences of land degradation in Ethiopia: a review. **International Journal**, v. 10. n. 1. p. 10-21, 2024.

TAREKEGN. A. *et al.* Forage yield and quality traits of *Brachiaria* spp. grass species at central Gondar Zone. Ethiopia. **Journal of Rangeland Science,** v. 13. n. 4. p. 1-9. 2023.

TEAGUE, R.; KREUTER, U. Managing grazing to restore soil health. ecosystem function. and ecosystem services. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 534187, 2020. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187

TORRES-LUGO, R. B. *et al.* Productivity. morphology and chemical composition of *Brachiaria* spp. ecotypes. under two solar illumination intensities. In Yucatan. Mexico. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2634, 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy12112634

THORNTON, P. K.; HERRERO, M. Climate change adaptation in mixed crop–livestock systems in developing countries. **Global Food Security**, v. 3, n. 2, p. 99-107, 2014.

WALES, N. S. **Managing pastures for seasonal variability**. Nuffield Australia project number 2210, 2024, 33 p.

WILMER, H. *et al.* Loss of seasonal ranges reshapes transhumant adaptive capacity: thirty-five years at the US Sheep Experiment Station. **Agriculture and Human Values**, v. 42, p. 545-563, 2025. https://doi.org/10.1007/s10460-024-10591-2

WRÓBEL, B.; ZIELEWICZ, W.; STANIAK, M. Challenges of pasture feeding systems—opportunities and constraints. **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 974, 2023.

VERA, D. E. *et al.* Crescimento e forma do eucalipto em função da densidade de plantio. **Ciência Florestal,** v. 32, n. 1, p. 504-522, 2022.

VIEIRA JUNIOR, N. A. *et al.* Understanding the arrangement of eucalyptus-marandu palisade grass silvopastoral systems in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 196, p. 103316, 2022.

VESTE, M. *et al.* The need for sustainable agricultural land-use systems: benefits from integrated agroforestry systems. *In*: VON MALTITZ, G. P. *et al.* **Sustainability of Southern African ecosystems under global change**: science for management and policy interventions. Cham: Springer International Publishing. pp. 587-623. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10948-5_21

YADAV, A. *et al.* Silvopastoral system: a prototype of livestock agroforestry. **The Pharma Innovation Journal**, v. 8, n. 2, p. 76-82, 2019.

ZHANG. R. *et al.* Rumo a uma gestão sustentável do pastoreio com base na biodiversidade e na multifuncionalidade do ecossistema em terras secas. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. v. 48. p. 36-43. 2021. https://doi.org/10.1038/s41467-023-40809-6