

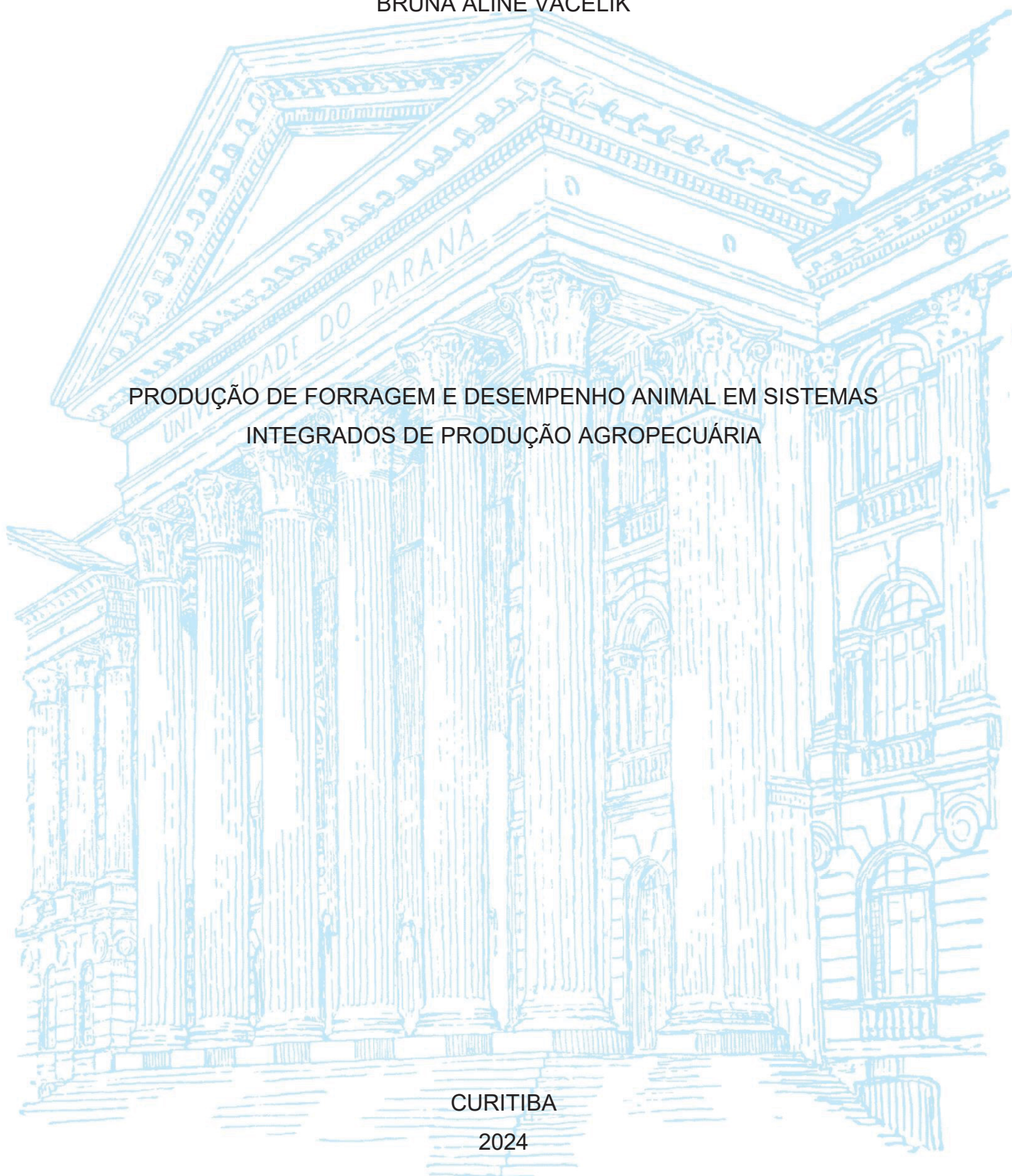
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA ALINE VACELIK

PRODUÇÃO DE FORRAGEM E DESEMPENHO ANIMAL EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

CURITIBA

2024



BRUNA ALINE VACELIK

PRODUÇÃO DE FORRAGEM E DESEMPENHO ANIMAL EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira.

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Vacelik, Bruna Aline

Produção de forragem e desempenho animal em
sistemas integrados de produção agropecuária/ Bruna Aline
Vacelik. – Curitiba, 2024.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira

1. Forragem. 2. Agropecuária - Produtividade. 3. Bovinos. 4.
Pastejo. I. Oliveira, Leandro Bittencourt de. II. Universidade Federal
do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção
Vegetal). III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SETOR DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **BRUNA ALINE VACELIK** intitulada: **PRODUÇÃO DE FORRAGEM E DESEMPENHO ANIMAL EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**, sob orientação do Prof. Dr. LEANDRO BITTENCOURT DE OLIVEIRA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 15 de Março de 2024.

Assinatura Eletrônica

18/03/2024 09:24:33.0

LEANDRO BITTENCOURT DE OLIVEIRA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

18/03/2024 07:38:47.0

FERNANDA GOMES MOOJEN

Avaliador Externo (UNIVERSITY OF IDAHO)

Assinatura Eletrônica

16/03/2024 18:19:18.0

PEDRO ARTHUR DE ALBUQUERQUE NUNES

Avaliador Externo (COOPERATIVA CENTRAL GAUCHA)

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 14:47:54.0

ANDRE BRUGNARA SOARES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ - CAMPUS PATO BRANCO)

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da minha história, e a Nossa Senhora Aparecida, que me ampararam, me protegeram e me guiaram até esse momento, e que, acima de tudo, jamais permitiram que me faltassem forças para lutar por todos os meus sonhos.

Aos meus pais, Rosângela e Adolar, que me deram a vida, amor, carinho, valores e que me incentivaram a buscar sempre o melhor de mim. Obrigada por me ensinarem a caminhar, e assim, poder seguir meus próprios passos; ao meu irmão Bruno, pela parceria e pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador, professor Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira, pelos incontáveis ensinamentos, pelo exemplo de dedicação e esforço à pesquisa e à docência, por toda a ajuda e pela amizade.

Aos amigos de pós-graduação e companheiros de NITA, Camila Crestani, Ana Paula Corteze, Marco Antonio Mayer, Taynara Piano, e a toda equipe e time de estagiários pela incansável ajuda na obtenção dos dados que tornaram possível a realização deste trabalho, e pelos incontáveis bons momentos e pela amizade, que tornaram esse período mais leve e divertido.

A todos os amigos e familiares que carrego em meu coração pelo carinho, amizade e companheirismo dedicados a mim durante todo esse período.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e à Universidade Federal do Paraná pela oportunidade; a todos os professores por todo o conhecimento compartilhado durante as disciplinas cursadas, em especial ao professor Dr. Anibal de Moraes pela acolhida em 2019 durante meu período de estágio e no meu retorno em 2021.

Aos servidores deste Programa de Pós-Graduação e do setor de fitotecnia pela excelência nos serviços prestados à comunidade acadêmica da Universidade;

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente com este trabalho, o meu muito obrigada.

EPÍGRAFE

“Hoje meus olhos são mansos, andam no campo sem pressa, conhecem os seus segredos, onde termina e começa. Por isso que há de ficar para cada um que virá o amor por estes campos que a gente sempre terá. Pois tem um fato que creio e rezo sempre pra Deus: quem tem o campo no sangue passa esse sangue para os seus.”

Gujo Teixeira

RESUMO

Integrar a produção agrícola, pecuária e florestal apresenta benefícios econômicos e ambientais, com a possibilidade de intensificação produtiva e diversificação de renda do produtor. Contudo, o aumento da complexidade dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) promove alterações na estrutura do componente pastoril e consequentes mudanças na produção primária e secundária de um sistema pastejado por bovinos. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção primária e secundária sob diferentes arranjos espaço-temporais de um SIPA, em três estações do ano (inverno, primavera e verão). O experimento foi conduzido por dois anos (2021/2022 e 2022/2023) em pastagens perenes de verão e pastagens anuais de inverno, pastejadas por novilhos de corte na área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), Pinhais (PR), localizado na área de proteção ambiental do Rio Iraí, que proíbe o uso de agrotóxicos. Quatro tratamentos com diferentes arranjos de integração foram conduzidos em um delineamento de blocos casualizados, sendo eles lavoura-pecuária (LP), pecuária-floresta (PF) e lavoura-pecuária-floresta (LPF), e um sistema com apenas pecuária (P), com três repetições por tratamento. O componente arbóreo foi caracterizado pelo cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus benthamii*), e a lavoura consistiu no cultivo de milho (*Zea mays*), sob plantio sem dessecação. O método de pastoreio utilizado foi o contínuo, com taxa de lotação variável, visando a manutenção da altura da pastagem em 24 cm durante todo o período. Os sistemas sem árvore (P e LP) superaram os sistemas com componente arbóreo (LF e CLF) em termos de produção primária, com pastagens 4 cm mais altas no inverno, maiores massas de forragem (770 kg de MS ha⁻¹) nas médias de inverno e primavera, e uma produção total de forragem 1574 kg de MS ha⁻¹ maior para P e LP. Os tratamentos P e LP apresentaram maiores taxas de lotação, com 262 kg a mais de peso vivo (PV) por hectare durante o inverno e a primavera, e ganhos de peso vivo (GPV) 1,44 kg PV ha⁻¹ maiores durante o inverno, em comparação com PF e LPF. Nossos resultados demonstram que os sistemas com árvores tiveram uma menor produção primária e secundária, principalmente durante o inverno. No entanto, todos os sistemas apresentaram capacidades semelhantes em termos de produção de forragem e animal durante a primavera e o verão, o que destaca a complexa interação entre influências sazonais e a produtividade dos sistemas integrados e ressalta o potencial dos sistemas integrados, considerando o planejamento da produção de forragem adaptado às variações sazonais no subtropical brasileiro.

Palavras-chave: Sistemas agrossilvipastoris; Oferta de forragem; Produção animal à pasto. Bovinos; Pastejo.

ABSTRACT

Integrating agricultural, livestock, and forestry production presents economic and environmental benefits, allowing for increased productivity and income diversification for farmers. However, the increased complexity of integrated crop-livestock-forestry systems (ICLS) leads to changes in the structure of the pasture component and consequent alterations in primary pasture production and secondary livestock production. The aim of this study was to evaluate primary and secondary production under different spatial-temporal arrangements of ILFS, across three seasons (winter, spring, and summer). The experiment was conducted over two years (2021/2022 and 2022/2023) in perennial summer pastures and annual winter pastures, grazed by beef steers in the experimental area of the Nucleus for Technological Innovation in Agriculture (NITA), Pinhais (PR), located in the environmental protection area of the Iraí River, which prohibits the use of pesticides. Four treatments with different integration arrangements were conducted in a randomized complete block design: crop-livestock (CL), livestock-forestry (LF), crop-livestock-forestry (CLF), and a single livestock system (L), with three replicates per treatment. The tree component consisted of Eucalyptus cultivation (*Eucalyptus benthamii*), and cropping involved maize cultivation (*Zea mays*). Continuous grazing method was used, with variable stocking rates to maintain pasture height at 24 cm throughout the period. Systems without trees (L and CL) outperformed systems with tree components (LF and CLF) in terms of primary production, with pastures 4 cm taller in winter, higher forage masses (770 kg DM ha⁻¹) in winter and spring averages, and a total forage production 1574 kg DM ha⁻¹ higher for L and CL. Treatments L and CL had higher stocking rates, with 262 kg more live weight (LW) per hectare during winter and spring, and live weight gains (LWG) 1.44 kg LW ha⁻¹ higher during winter, compared to LF and CLF. Our results demonstrate that tree systems had lower primary and secondary production, especially during winter. However, all systems exhibited similar capabilities in terms of forage and animal production during spring and summer, highlighting the complex interaction between seasonal influences and the productivity of integrated systems, and underscoring the potential of integrated systems, considering forage production planning adapted to seasonal variations in the Brazilian subtropics.

Keywords: Agrosilvopastoral systems; Forage supply; Animal production on pasture; Cattle; Grazing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2	CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	COMPORTAMENTO INGESTIVO DE BOVINOS EM PASTEJO	19
2.2	EFEITOS DO MÉTODO DE PASTOREIO.....	21
2.3	SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	24
2.4	INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO.....	27
2.5	REFERÊNCIAS	30
3	CAPÍTULO II - Structure sward, herbage and beef production in multi-specific pastures in integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics.....	35
3.1	ABSTRACT	36
3.2	INTRODUCTION.....	37
3.3	MATERIALS AND METHODS	38
3.4	RESULTS.....	43
3.5	DISCUSSION	49
3.6	CONCLUSION	53
3.7	REFERENCES.....	54
4	REFERÊNCIAS GERAIS	61
5	APÊNDICE	68

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados da ABIEC (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne; 2022), nos últimos 30 anos, a pecuária brasileira passou por uma notável evolução em sua eficiência, com um aumento de 183% na produtividade, enquanto a área de pastagens utilizada diminuiu em 18%, atingindo aproximadamente 160 milhões de hectares em 2022. Desempenhando um papel fundamental na economia brasileira, a pecuária refletiu sua posição de destaque, tornando o Brasil como o segundo maior produtor e principal exportador mundial de carne bovina. O cenário de 2022 evidencia a resiliência e adaptabilidade do setor, com um crescimento de 3,3% no rebanho, totalizando 202 milhões de cabeças, e uma redução de 5,7% nas áreas de pastagens, abrangendo aproximadamente 154 milhões de hectares. O abate total de bovinos atingiu 42,31 milhões de cabeças, destacando a predominância do sistema extensivo, com 81,8% dos animais abatidos criados a pasto. Cerca de 18,72% da área total do país é dedicada à pecuária, reforçando o papel significativo desempenhado por esse setor na configuração da paisagem agrícola nacional. O setor enfrenta desafios, como a necessidade de conciliar o aumento projetado de 1% no rebanho bovino com uma estimativa de redução de 2% na área de pastagem nos próximos dez anos (ABIEC, 2022).

No entanto, grande parte destas pastagens encontram-se em evidente e avançado grau de degradação, com baixo rendimento forrageiro por área, principalmente devido à exploração intensa e sem o uso de práticas conservacionistas ou agronômicas, como adubação e tratamentos culturais necessários (ARANHA *et al.*, 2019). Diante desse cenário, a procura por alternativas que revertam a perda da qualidade do solo, com o objetivo do aumento da produção vegetal em conjunto com a produção animal, é cada dia mais necessária (ARANHA *et al.*, 2019). Nesse sentido, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) oferecem alternativas reais para recuperação destas áreas (ARANHA, 2017). Os SIPA são sistemas planejados, que envolvem interações temporais e espaciais, em diferentes escalas, com a exploração agrícola, pecuária e florestal dentro da mesma área, de forma sequencial ou concomitante (MORAES *et al.*, 2014)

Integrar em uma área produção agrícola, pecuária e florestal possibilita a diversificação e potencialização do uso da área, aumentando a complexidade das interações entre cada componente do sistema (MARTIN, 2018), que podem ser caracterizadas como provisórias ou eventuais, nos quais a inserção de um dos componentes (agrícola, pecuário ou

florestal) se dá em um momento do processo; e verdadeiras ou permanentes, onde a sinergia entre componentes é prevista desde o planejamento inicial. No primeiro caso, existe um enfoque em um dos componentes do sistema (como a obtenção de madeira, por exemplo), sendo os demais tidos como componentes secundários da renda. Já no segundo, não há ênfase produtiva em um componente isolado, mas sim um complemento entre todos (BUNGENSTAB, 2012). Assim, a complexidade destas interações entre os diferentes componentes resulta em um ambiente mais equilibrado, sustentável e resiliente (MARTIN, 2018, BUNGENSTAB, 2012)

Dentre os benefícios dos SIPAs, incluem-se a redução de custos e riscos para o produtor, com a diversificação e aumento da renda; melhoria na eficiência do uso do solo e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MORAES *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2010), com incremento nos estoques de carbono do solo (CARVALHO *et al.*, 2010); Redução do uso de agrotóxicos pela quebra do ciclo de pragas, doenças e plantas daninhas (VILELA *et al.*, 2008), além da redução dos impactos ambientais das atividades produtivas ao reduzir a emissão de GEE (gases de efeito estufa) (FRANCHINI *et al.*, 2010; BALBINO *et al.*, 2011).

O sinergismo criado pela diversidade de rotações existentes nos SIPAs se soma com o aproveitamento racional dos meios naturais e multifuncionalidade das pastagens, trazendo propriedades emergentes aos sistemas integrados, onde o resultado da contribuição de todo o sistema não se reduz a soma dos efeitos isolados de cada componente presente no sistema (MARTIN, 2018). Esse equilíbrio entre crescimento produtivo e otimização de recursos representa um avanço crucial no desenvolvimento sustentável do setor, pautando-se em um modelo mais eficiente e responsável com os recursos naturais.

Diante do exposto, o presente estudo foi desenvolvido com a hipótese de que a integração do sistema pastoril ao sistema silvícola pode ser gerenciada para promover uma estrutura semelhante no pasto, embora reduza a produção de forragem principalmente durante o inverno. Em contrapartida, espera-se que a integração da pecuária à lavoura promova uma estrutura aprimorada no pasto e uma maior produção de forragem. Nossa abordagem busca avaliar a estrutura do pasto, a produção de forragem e animal durante o inverno, primavera e verão, quando o sistema pastoril é integrado à lavoura e/ou árvores. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção forrageira e animal em diferentes arranjos de SIPA, em dois ciclos produtivos (21/22 e 22/23) e em três estações distintas: inverno, primavera e verão.

O presente trabalho está dividido em dois capítulos, sendo o primeiro capítulo uma revisão de literatura sobre os temas de maior relevância, e o segundo capítulo na forma de artigo científico, apresentado sob o título “Sward structure, herbage and beef production in multi-species pasture in integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics”.

2. CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. COMPORTAMENTO INGESTIVO DE BOVINOS EM PASTEJO

O processo de pastejo pode ser, ao mesmo tempo, a causa e a consequência do ambiente pastoril (CARVALHO *et al.*, 2016). O comportamento ingestivo de bovinos pode ser avaliado pelas variáveis de tempo de pastejo e taxa e massa de bocados, que são influenciados diretamente pela estrutura do pasto, e concomitantemente, a extração dos bocados modifica o ambiente pastoril, alterando a interceptação luminosa do dossel e relações de crescimento vegetal (SOUZA *et al.*, 2021; CARVALHO *et al.*, 2016). O consumo de forragem, portanto, é resultado de fatores como estrutura e acessibilidade do pasto, bem como de sua qualidade e abundância (CARVALHO *et al.*, 2005).

A estrutura do pasto é definida como a distribuição e disposição da biomassa área da planta, que resulta da dinâmica de crescimento de todos os componentes morfológicos que constituem a comunidade de plantas forrageiras (LACA & LEMAIRE, 2000), sendo este o parâmetro principal que determina o consumo de forragem pelos animais em pastejo (NETO, 2019). Para Carvalho *et al.* (2001), as características estruturais do pasto são uma consequência de suas variáveis morfogênicas, que expressam o crescimento (taxa de aparecimento, taxa de alongação das folhas e sua duração de vida), que resultam por sua vez nas variáveis estruturais, como tamanho e número de folhas vivas por perfilho. Dessa forma, a estrutura do pasto não só nos fornece informações sobre a quantidade de forragem, mas também como a forragem é apresentada aos animais (NETO, 2019).

Dentre as principais características associadas à planta que podem afetar a coleta da forragem pelo animal, estão a altura do pasto, a massa de forragem existente por unidade de volume, a fibrosidade das lâminas foliares, presença de bainhas e colmos como barreiras à desfolha e o teor de matéria seca. Tais características serão determinantes para o grau de seletividade exercidos pelos animais, e para a eficiência na qual esta forragem será colhida, e o que determinará a quantidade total de nutrientes sendo ingeridos pelos herbívoros (CARVALHO *et al.*, 2005).

Normalmente, herbívoros em pastejo selecionam plantas e componentes morfológicos que possam otimizar a ingestão de nutrientes, colhendo sua exigência nutricional no menor

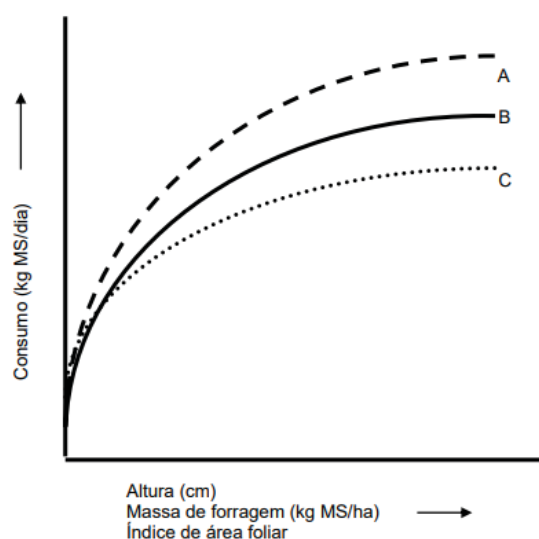
tempo possível, minimizando o gasto energético e ficando o menor tempo exposto a predadores (CARVALHO, 2013; PYKE, 1984).

Bovinos tendem a manter um tempo total de pastejo relativamente estável para atender suas necessidades nutricionais diárias. Existindo condições ideais de quantidade e qualidade na estrutura do pasto, o ruminante irá maximizar seu consumo. De acordo com Fraser e Broom (1997), o gado apresenta um padrão de alimentação que varia de 6 a 13h, e um tempo de descanso em torno de 12h. No entanto, esses padrões podem ser alterados de acordo com a oferta de forragem ou de áreas sombreadas. Desta forma, os animais adotariam uma estratégia de minimização de tempo de pastejo, colhendo uma maior quantidade de forragem, mesmo que isso lhes confira a colheita de uma dieta de menor qualidade nutricional (MEZZALIRA, 2012; GOMES *et al.*, 2021).

Considerada a menor escala de decisão do animal em pastejo, o bocado é a ação ou o ato de apreensão da forragem com os dentes. Laca & Ortega (1995) definiram o bocado como o átomo do pastejo, e a eficiência do forrageamento no bocado de curto prazo refletirá na ingestão e no consequente desempenho animal a longo prazo. Ou seja, o consumo da forragem é constituído pelo somatório de cada ação de captura da forragem em cada bocado, e a maximização do consumo passa pela oportunidade que o animal tem de acessar estruturas de pasto ideais ao longo do período de pastejo. (MEZZALIRA, 2012; NETO, 2019; CARVALHO *et al.*, 2001).

A interação entre o efeito da estrutura da pastagem sobre a ingestão de forragem por animais em pastejo foi descrita por Gordon e Illius (1992) como a resposta funcional clássica, descrita por uma função curvilínea, onde a medida em que se aumenta a massa de forragem, aumenta-se também o consumo, até um ponto de estabilização, representado pela saturação do animal em processar o alimento. A resposta funcional, é, portanto, definida como a relação entre o consumo do animal e a disponibilidade de alimento (MEZZALIRA, 2012). As curvas A, B e C (Figura 1) indicam ser possível observar diferentes níveis de consumo para uma mesma altura, massa de forragem ou índice de área foliar através de diferenças na arquitetura ou qualidade intrínseca das forrageiras, ou com animais com diferentes condições corporais ou potenciais genéticos (CARVALHO *et al.*, 2001).

FIGURA 1 - RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO PASTO E O CONSUMO DE FORRAGEM POR HERBÍVOROS EM PASTEJO.



Fonte: adaptado de CARVALHO *et al.*, 2001

A eficiente utilização dos recursos forrageiros é altamente dependente do adequado manejo, que proporcione estruturas de pasto favoráveis ao consumo dos herbívoros em pastejo, atendendo suas exigências nutricionais e determinando sua taxa de ingestão. No entanto, pela heterogeneidade estrutural do ambiente pastoril, uma mesma massa de forragem pode ser apresentada aos animais com diferentes combinações de altura e densidade, o que resultará em diferentes níveis de ingestão (CARVALHO *et al.*, 2009).

O comportamento ingestivo de bovinos pode ser descrito por diversas variáveis que compõem o processo de pastejo. Dentre os componentes de curto prazo que mais se destacam, pode-se citar a massa e taxa de bocados, e a taxa de consumo, que são direta ou indiretamente influenciados pela estrutura do pasto; seja pela disponibilidade, que irá afetar a área e a profundidade do bocado, ou por questões estruturais da planta, que definirá a forma com a qual o animal usará os movimentos mandibulares para colheita, mastigação ou busca do alimento (CARVALHO *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2021; MEZZALIRA, 2012).

A massa do bocado é definida pela profundidade do bocado e pela área do bocado. Hodgson *et al.* (1997, apud CARVALHO *et al.*, 2001) descreveram que a massa do bocado é influenciada diretamente pela resposta da profundidade do bocado à altura da pastagem, apresentando nestas variáveis uma frequente relação de proporcionalidade ao longo de uma ampla variação de alturas de pastagem. A profundidade do bocado é normalmente atrelada à altura do pasto, apresentando uma relação proporcionalmente direta. A taxa de bocados é definida pelo número de bocados pelo tempo de pastejo. A taxa de bocados e massa de bocados

definem a ingestão de matéria seca (MEZZALIRA, 2012; CARVALHO *et al.*, 2001; MEZZALIRA *et al.*, 2014). Para Carvalho & Moraes (2005, apud CARVALHO *et al.*, 2005) o consumo diário é um produto direto da taxa de ingestão, sendo um processo cumulativo do somatório dos bocados colhidos.

Baumont *et al.* (2004) consideraram a altura do pasto como o fator que mais afeta a massa de bocado, ao desenvolver um modelo mecânico para estimar a taxa de consumo ideal à arquitetura da pastagem e consequente decisão de alimentação dos animais. Os resultados obtidos pelos autores consideram que os animais colhem a forragem em uma proporção relativamente constante de 50% da altura do perfilho estendido. A preferência por altura significa oportunidade de maiores taxas de ingestão, além de potencializar a profundidade do bocado (CARVALHO *et al.*, 2001).

2.2. EFEITOS DO MÉTODO DE PASTOREIO

O processo de desfolhação durante o pastejo afeta a estrutura da pastagem e, por conseguinte, o comportamento alimentar do animal, influenciando sua taxa de ingestão de forragem a curto prazo (FONSECA *et al.*, 2012). O pastejo é um processo de suma importância, com efeitos diretos na dinâmica e no funcionamento dos ecossistemas pastoris (CARVALHO, 2013), e o manejo da pastagem deve ser baseado na interação planta-animal, e deve considerar os processos envolvidos na produção, utilização e sustentabilidade da pastagem, assim como no desempenho animal (LEMAIRE *et al.*, 2011).

Práticas de manejo adotadas na utilização das pastagens afetam a estrutura do pasto que, por sua vez, afeta o crescimento vegetal e os padrões de comportamento e consumo de forragem pelos animais (AMARAL, 2011). No contexto da região sul brasileira, o pastoreio contínuo e rotativo são os mais comumente utilizados, e apresentam índices produtivos semelhantes quando intensidade ótimas de pastejo são empregadas (BRISKE *et al.*, 2008).

O método de pastoreio contínuo é caracterizado pela permanência dos animais em toda área por um determinado período de tempo. Já o método rotativo é caracterizado pela permanência alternada dos animais em áreas restritas do pasto por curtos períodos de ocupação, projetado para redistribuir a pressão de pastejo ao longo do tempo e do espaço, proporcionando maior controle sobre a frequência, intensidade e uniformidade da desfolha da pastagem durante um ciclo de pastejo (GILLEN *et al.*, 1990; AMARAL, 2011). A taxa de lotação da pastagem também está diretamente ligada ao desempenho animal durante o pastejo, especialmente devido

à sua influência sobre a pressão de pastejo adotada, afetando características estruturais da pastagem como altura, índice de área foliar e porcentagem de material morto, impactando diretamente o consumo de forragem pelo herbívoro em pastejo (ALMEIDA *et al.*, 2002).

Segundo LACA (2009), independentemente do método de pastoreio, taxa de lotação e outros fatores de manejo, o processo de pastejo pode ser interpretado em uma escala espacial e temporal, com uma série de bocados que removem um conjunto de plantas por unidade animal, e que variam em função da área de pastejo e que é influenciada, por diferentes relações de causa e efeito, por fatores bióticos e abióticos. O comportamento ingestivo dos animais pode gerar, manter ou reduzir a heterogeneidade do pasto, e o conhecimento sobre este comportamento em sistemas pastoris permite o uso adequado de estratégias de manejo (HAO *et al.* 2013).

Ao longo de sua evolução, as plantas forrageiras desenvolveram mecanismos de resistência e adaptação ao pastejo como forma de assegurar sua sobrevivência e perpetuação da espécie. Inúmeros fatores, intrínsecos e extrínsecos, influenciam a dinâmica de perfilhamento de gramíneas. Dentre os fatores intrínsecos, ou seja, aqueles relacionados com a própria planta, pode-se citar a capacidade natural de perfilhamento e o estágio de desenvolvimento da planta. Já os fatores extrínsecos, influência dos fatores externos, como manejo do pasto, adubação, temperatura, umidade e luz (SBRISSIA *et al.*, 2007; DUCHINI, 2013).

A capacidade de regeneração da área foliar da planta forrageira após a desfolhação é a principal característica que assegura a produção e a longevidade do pasto. Esta regeneração pode ocorrer pela emissão de folhas de meristemas apicais localizados abaixo do plano de corte, ou a partir de gemas axilares, por meio do perfilhamento. A persistência de uma planta forrageira está relacionada com o aparecimento contínuo de perfilhos, caracterizando a intensidade com que a renovação destes ocorre sob condições específicas de manejo. Para Hodgson (1990), o perfilho é a unidade básica de desenvolvimento das gramíneas, e o balanço existente entre o aparecimento e a mortalidade de perfilhos determina o número dessas unidades de crescimento no dossel forrageiro (SANTOS *et al.* 2011; DUCHINI, 2019; ROCHA *et al.*, 2019). Em um único perfilho ocorrem simultaneamente processos de crescimento (formação e expansão de folhas e alongamento de colmos) e de perda de tecidos (senescência e morte foliar). A taxa de aparecimento, em conjunto com a taxa de sobrevivência de perfilhos, determina sua densidade populacional e influencia a participação de perfilhos de diferentes gerações no pasto (SANTOS *et al.* 2011; DUCHINI, 2019).

Cada evento de desfolha representa um distúrbio ao crescimento da planta, e interfere na sua habilidade competitiva dentro do dossel, afetando não só uma única planta, mas também as plantas vizinhas, pela modificação no ambiente luminoso e alterado a competição por luz. Sob desfolhações frequentes, normalmente associadas a manejos contínuos com altas taxas de lotação, a competição por luz é pequena, devido à constante remoção da área foliar. Nessas condições, a planta tem a capacidade de desenvolver uma resposta fotomorfogenética a uma disponibilidade de radiação mais ou menos constante, tendo em vista que apenas uma parte do tecido foliar é removido e a estrutura do dossel não sofre grandes alterações. Em situação de lotações intermitentes, por outro lado, a competição por luz aumenta continuamente durante o período de rebrota, e a cada desfolhação ocorre uma modificação rápida na quantidade e na qualidade da luz absorvida e na estrutura do dossel forrageiro. Estas modificações são determinadas e influenciadas pela severidade e drasticidade do pastejo (SBRISSIA *et al.*, 2007).

Após uma desfolhação severa, o suprimento de carbono da planta se torna inferior à sua demanda para manutenção e crescimento. Este balanço de carbono torna-se negativo temporariamente e passam a ser utilizadas as reservas orgânicas para respiração e restituição da área foliar, até que se desenvolvam novas folhas e a capacidade fotossintética do dossel seja reestabelecida. Desta forma, o comportamento seletivo do animal em pastejo, caracterizado pela remoção preferencial de espécies e/ou partes de plantas, afeta diretamente a competitividade das diferentes plantas dentro da comunidade (SBRISSIA *et al.*, 2007).

O manejo adequado consiste na administração de quanto da forragem produzida será colhida, visando um equilíbrio entre a necessidade da pastagem em manter uma quantidade de área foliar para a fotossíntese e crescimento, e a necessidade do animal em pastejo em colher tal área foliar para satisfazer suas exigências nutricionais e gerar desempenho (SEVERO, 2020).

2.3. SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Como um grande player no mercado mundial, o Brasil enfrenta o desafio de equilibrar a produção agropecuária e a proteção ambiental. Nas décadas por vir, precisaremos suprir uma grande parte da demanda global por alimentos, ainda garantindo que a expansão agropecuária não comprometa nossas áreas de floresta (GIL *et al.*, 2015). O setor pecuário enfrenta desafios como a necessidade de conciliar o aumento projetado de 1% no rebanho bovino com uma estimativa de redução de 2% na área de pastagem nos próximos dez anos (ABIEC, 2022).

Com o aumento crescente da demanda por alimentos, atividade agrícola moderna passou a se caracterizar por sistemas simplificados e padronizados de monocultura, com o uso constante de recursos não renováveis. Também, com a expansão das fronteiras agrícolas, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais tornaram-se cada vez mais intensificadas e dissociadas, com crescentes impactos negativos no meio ambiente, como contaminação de corpos d'água, erosão, e perda de biodiversidade. Esse modelo de produção prevalece em propriedades rurais ao redor do mundo; no entanto têm mostrado cada dia mais sinais de saturação, devido à alta demanda por energia e recursos naturais. (BALBINO *et al.*, 2011; LEMAIRE *et al.*, 2014)

De acordo com o boletim “the future of food and agriculture: trends and challenges” da FAO (2017), no ano de 2050 a população mundial atingirá o marco de 9.1 bilhões de pessoas. A demanda por alimentos e outros produtos oriundos da agropecuária está projetada para aumentar 50% entre 2012 e 2050, enquanto os recursos naturais de quais a agricultura depende estarão cada vez mais escassos: Produzir mais com menos é a chave para o futuro. A ascensão do Brasil como um dos líderes globais na produção e exportação de carne bovina ressalta a importância estratégica da pecuária para a segurança alimentar global. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), cerca de 1,3 bilhão de pessoas dependem diretamente da produção animal para subsistência, reconhecendo as proteínas como elementos essenciais em dietas saudáveis em todo o mundo (ABIEC, 2022).

No cenário da pecuária, o manejo inadequado do rebanho, aliado à degradação de pastagens, baixa reposição de nutrientes e aos baixos investimentos tecnológicos tornaram-se os principais sinais da baixa sustentabilidade da pecuária, trazendo consequências como baixas ofertas de forragem, redução de índices zootécnicos e baixas produtividades de carne e leite por hectare, gerando uma consequente ineficiência do sistema (BALBINO *et al.*, 2011; AIDAR & KLUTHCOUSKI, 2003).

Dentre as principais estratégias para a redução da emissão dos GEE(gases do efeito estufa), estão a redução da queima de combustíveis fósseis, redução nos índices de desmatamento e queimadas, além do manejo adequado do solo, possibilitando a maximização do sequestro de carbono (BALBINO *et al.*, 2011). A melhoria na qualidade física do solo, junto com a elevação nos níveis de matéria orgânica, gerada com a introdução de pastagens em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade demonstram o potencial dos SIPA em reduzir o impacto ambiental das atividades produtivas, ao reduzir as emissões dos GEE (FRANCHINI *et*

al., 2010; BALBINO *et al.*, 2011). Carvalho *et al.* (2010) demonstraram incremento nos estoques de carbono do solo em sistemas de iLP (integração lavoura-pecuária) sob sistema de plantio direto (SPD), quando comparados a áreas de SPD sem a presença de espécies forrageiras na rotação ou sucessão de cultivo. Resultados obtidos por Portugal *et al.* (2023) reforçam que sistemas integrados, quando bem geridos, são uma alternativa confiável de agricultura inteligente para o clima, possibilitando o aumento da produção de grãos, carne ou madeira, sem um aumento nas emissões de GEE, como o CH₄, proveniente da fermentação entérica de bovinos.

Por todos estes motivos, os SIPA são considerados uma das seis práticas elegíveis para o plano ABC. O Plano ABC é uma iniciativa do governo federal, levando em consideração a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), e que tem como objetivo geral promover a redução das emissões dos GEE na agricultura, possibilitando a adaptação do setor agropecuário às mudanças climáticas e aumentando a resiliência dos sistemas produtivos e comunidades rurais (MAPA, 2020; GIL *et al.*, 2015)

Os SIPA são citados na literatura como uma alternativa sustentável, combinando em uma mesma área a produção agrícola, pecuária e silvicultural, e podem incluir culturas anuais e/ou perenes, com diferentes espécies arbóreas e variados espaçamentos, densidades de plantio e frequência de rotações de culturas (GIL *et al.*, 2015). Moraes *et al.* (2017) evidencia que, no sul do Brasil, os SIPA têm sido propostos pela diminuição dos riscos no negócio agrícola, além de servirem como alternativa com o menor interesse nas rotações com culturas de inverno.

A utilização do componente arbóreo em sistemas integrados apresenta benefícios econômicos e ambientais, com a possibilidade de intensificação produtiva. Contudo, estes sistemas geram uma maior heterogeneidade nas condições microclimáticas quando comparados aos sistemas tradicionais de produção a pleno sol, causando principalmente alterações na interceptação luminosa do dossel, influenciando diretamente na qualidade e produção da pastagem (CAMPOS, 2019).

Resultados obtidos por Gomes *et al.* (2021) demonstram que diferentes densidades de árvores em sistemas integrados influenciaram o comportamento ingestivo diurno, tempo total de ruminação e tempo de descanso de novilhas nelore em pastagem tropical. Maiores tempos de pastejo a pleno sol foram observados em sistema com menor densidade de árvores, enquanto nos sistemas com maior densidade de árvores foi observado que as atividades de ruminação e ócio passaram a ser realizadas preferencialmente à sombra.

2.4. INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO

As discussões sobre bem-estar animal e conforto térmico na pecuária aumentam, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, onde a produção de gado ocorre predominantemente em pastagens e alta incidência de radiação solar nessas regiões aumenta o estresse térmico dos animais (KARVATTE JUNIOR *et al.*, 2022). A adoção de sistemas de produção que mitigam os efeitos adversos do clima quente pode proporcionar mais conforto e melhorar os rendimentos do gado, tanto para raças europeias quanto para zebuínas e seus cruzamentos (Leite da Silva *et al.*, 2020). Curtis *et al.* (2017) reiteram que fatores biometeorológicos como altas temperaturas do ar, umidade relativa e radiação solar podem influenciar o comportamento do gado em relação ao tempo dedicado ao descanso e à alimentação, pois o sombreamento nas pastagens cria uma barreira contra a radiação solar e, embora não esteja diretamente relacionado à temperatura do ar, desempenha um papel essencial na redução do desconforto térmico nos animais (Souza *et al.*, 2010; Domiciano *et al.*, 2018). Ademais, o componente arbóreo promove maior sequestro de carbono por área arável (ARANHA *et al.*, 2019) e pode mitigar os efeitos das mudanças climáticas, proporcionando abrigo contra a radiação solar em regiões de baixa precipitação e nebulosidade, reduzindo a radiação líquida e a velocidade do vento, e desacelerando a evapotranspiração das plantas do sub-bosque em sistemas silvipastoris (BOSI *et al.*, 2020).

No entanto, para a produção de forragem, a luminosidade incidente é um fator limitante, podendo afetar sua estrutura e composição nutricional. Em condições de sombreamento, forrageiras geralmente apresentam redução na produção de matéria seca, aumento do teor de fibra e modificações morfofisiológicas, dependendo de sua tolerância ao sombreamento e das mudanças no nível de irradiância (ALVES *et al.*, 2021). Para algumas espécies, devido à sua plasticidade fenotípica - definida por Lemaire & Agnusdei (2000) como uma mudança progressiva e reversível nas características morfogenéticas de plantas individuais, em resposta à modificação no seu ambiente -, a presença da sombra pode trazer efeitos positivos, como melhores valores nutricionais, maiores áreas foliares e maior relação folha/colmo (SOARES *et al.*, 2009).

Mesmo representando uma alternativa promissora, os sistemas silvipastoris, por suas condições microclimáticas mais heterogêneas e dinâmicas que as verificadas nos sistemas tradicionais de produção animal, têm dificultado a definição de práticas de manejo mais

adequadas às forrageiras do sub-bosque (GARCEZ NETO *et al.*, 2010). A implementação das árvores no sistema requer um planejamento criterioso e constante monitoramento para que se minimizem as interações negativas, enquanto maximizam-se as positivas com o ambiente e os sistemas de produção (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2018). A adaptação das espécies forrageiras em um sistema silvipastoril é altamente dependente de sua habilidade em crescer em condições edafoclimáticas alteradas pela presença das árvores no estrato vegetal superior (SOARES *et al.*, 2009).

Entre as variações microclimáticas, as modificações no ambiente luminoso influenciam significativamente a produtividade do pasto (GARCEZ NETO *et al.*, 2010), estando as plantas sujeitas a períodos de sombra alternados com períodos de quase plena luminosidade, sendo esta periodicidade determinada pelo espaçamento entre árvores, tamanho da copa e altura da copa em relação ao solo (VARELLA *et al.*, 2019).

Normalmente, o sombreamento causado pelas árvores leva à redução na radiação incidente e na relação do espectro da luz (como vermelho / vermelho-extremo), causando alterações nas características morfológicas na planta, o que influencia diretamente na quantidade e qualidade da forragem produzida (GARCEZ NETO *et al.*, 2010). Dentre as modificações morfológicas reportadas na literatura como estratégias de tolerância de plantas forrageiras, pode-se citar: aumento da área foliar média e menor peso específico foliar, com o objetivo de se aumentar a capacidade de interceptação da radiação solar; maior densidade de clorofila foliar (especialmente clorofila b), buscando o aumento da eficiência na absorção energética; aumento no teor de proteína bruta; maior relação folha:colmo e parte aérea:raiz, com alocação de reservas preferencialmente em estruturas de busca e de interceptação da radiação; alteração no ângulo foliar para otimização da captura da radiação (VARELLA *et al.*, 2019).

Plantas cultivadas em sistemas de integração com componente arbóreo lidam com uma forte redução na intensidade da radiação, particularmente, a radiação fotossinteticamente ativa (400 - 700 nm), e, ao mesmo tempo, são expostas à mudanças significativas na qualidade da luz, como alterações nas proporções entre a luz vermelha (V) e o vermelho-distante (VD) ou razão V/VD. Portanto, o desempenho de determinada espécie também dependerá da habilidade delas em tolerar ou superar a barreira imposta pelo sombreamento (VARELLA *et al.*, 2019). A percepção da baixa razão V/VD pelas espécies com estratégias de escape ao sombreamento gera uma série de respostas conhecidas como “síndrome de escape ao sombreamento” (SAS ou

‘shade avoidance syndrome’), conforme reportam Smith e Whitelam (1997 *apud* VARELLA *et al.*, 2019)

Devido a estratégias de adaptação morfológica da planta forrageira em busca de luz, como menor densidade de perfilhos e menor relação folha:colmo, em sistemas silvipastoris, a presença de sombra pode reduzir diretamente a produção de forragem. Alterações na estrutura do pasto, considerada a causa-consequência do processo de pastejo (Carvalho *et al.*, 2009), pela presença do componente arbóreo afetam a produção primária e produção secundária, devido a alterações no consumo de forragem (CAMPOS, 2019).

REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da pecuária no Brasil**. Retrieved January 08, 2024, from Beef report website: https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022_atualizado_jun2022.pdf. 2022.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. **Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados**. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.
- ALVES, C. P. *et al.* Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e10610615405–e10610615405, 22 maio 2021.
- AMARAL, G. A. Consumo de forragem e emissão de metano por ovinos em ambientes pastoris. Tese (doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Santa Maria, 2011)
- BALBINO, L.C. *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.i-xii, 2011.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.92, e20180425, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>.
- BRISKE, D. D. *et al.* Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. **Rangeland Ecology & Management**, v. 61, n. 1, p. 3–17, jan. 2008.
- CAMPOS, B. M. Produção animal agroecológica em sistemas integrados de produção agropecuária. Dissertação (mestrado em produção vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2019.
- CARVALHO, P. C. F., *et al.* Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: Mattos, W. R. S. (Org.). A produção animal na visão dos brasileiros. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Piracicaba, 2001, p.853-871. 2001.
- CARVALHO, P. C. DE F., GENRO, T. C. M., GONÇALVES, E. N., BAUMONT, R. A estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre o consumo e a produtividade. In: Reis, R. A. *et al.* (Orgs.). **Volumosos na Produção de Ruminantes**, Jaboticabal, Funep. 2005, p. 107-124.
- CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K; MEZZALIRA, J.C. *et al.* Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interfase planta:animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.109-122, 2009.

CARVALHO, P.C. de F. *et al.* Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, P.C.F. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, 1(2), pp.137-155. 2013.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* **Como a estrutura do pasto influencia o animal em pastejo? Exemplificando as interações planta-animal sob as bases e fundamentos do pastoreio 'rotatínuo'**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 8., 2016, Viçosa, MG. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2016. v. 1, p. 303-333

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, 21 out. 2019.

CURTIS, A.K., SCHARF, B., EICHEN, P.A., SPIERS, D.E., 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. **Journal of Thermal Biology**. 63, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.11.015>.

DUCHINI, P. G. **Dinâmica do acúmulo e do perfilhamento em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou em consórcio**. Dissertação (mestrado em ciência animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2013.

DOMICIANO, L.F., *et al.*, 2018. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Anim. Prod. Sci.** 58, 920–929. <https://doi.org/10.1071/AN16351>.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Roma, 2017. Retrieved June 16, 2023. Available in: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 394–406, jan. 2015.

GILLEN R.L., MCCOBUM F.T., and BRUMMER J.E. (1990) Tiller defoliation patterns under short duration grazing in tallgrass prairie. **Journal of Range Management**, 43, 95–99.

HAO, J., *et al.* (2013) Effects of rotational and continuous grazing on herbage quality, feed intake and performance of sheep on a semi-arid grassland steppe. **Arch. Anim. Nutr.** 67: 62–76.

FRANCHINI, J. C. *et al.* **Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 77). Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/CT77VE.pdf>.

GOMES, C. *et al.* **Daytime ingestive behaviour of grazing heifers under tropical silvopastoral systems: Responses to shade and grazing management.** v. 240, p. 105360–105360, 1 jul. 2021.

GORDON, I. J.; ILLIUS, A. W. Foraging strategy: From monoculture to mosaics. In: **Speedy, A.W.**(Ed.). *Progress in sheep and goat research.* Wallingford: CAB International, 1992, p.153-178.

KARVATTE, N. *et al.* Spatiotemporal variations on infrared temperature as a thermal comfort indicator for cattle under agroforestry systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102871, 1 abr. 2021.

LACA, E.A.; LEMAIRE, G. Measuring sward structure. In: **Field and laboratory methods for grassland and animal production research.** Wallingford: CAB International, 2000. p.103-122

LACA. E.A. ORTEGA, I.M. **Integrating foraging mechanisms across spatial and temporal scales.** In: International rangeland congresso, 5, 1995. Salt Lake City, Proceedings... p. 129-132.

LACA E.A. New Approaches and Tools for Grazing Management. **Rangeland Ecol. Manage.** 62: 407–417. 2019.

LEITE DA SILVA, W.A. *et al.*, Shading effect on physiological parameters and in vitro embryo production of tropical adapted Nelore heifers in integrated crop-livestock-forest systems. **Tropical Animal Health Production.** 52, 2273–2281, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02244-3>.

LEMAIRE, G.; HODGSON, J. G.; ABAD CHABBI. **Introduction: food security and environmental impacts - challenge for grassland sciences.** 1 jan. 2011.

LEMAIRE, G., FRANLUEBBERS, A., CARVALHO, P. C. F., DEDIEU, B. Intregated croplivestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, n.4-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. *et al.* (Ed.) **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology.** Wallingford: CAB International, 2000. p. 265-288.

MEZZALIRA, J C, *et al.* Behavioural Mechanisms of Intake Rate by Heifers Grazing Swards of Contrasting Structures. **Applied Animal Behaviour Science**, vol. 153, 1 Apr. 2014, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.

MEZZALIRA, J.C. *et al.* The Ingestive behaviour of cattle in large-scale and its application to pasture management in heterogeneous pastoral environments. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.2, n.7, p.909-916, 2012.

MORAES, A. *et al.* **Avanços técnico-científicos em SIPA no subtropico brasileiro.** Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Campus Pato Branco, 2017. p. 102–124. Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/patobranco/pb-agronomia/documentos/materiais-de-apoio-do-curso/palestras-intensificacao-com-sustentabilidade..>

NETO, G. F. S. **Precision bite: monitoring the ingestive behavior and defining a management goal under the concepts of rotatinnous stocking.** Dissertação (mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

PORTUGAL, T. B., *et al.* “Methane Emissions and Growth Performance of Beef Cattle Grazing Multi-Species Swards in Different Pesticide-Free Integrated Crop-Livestock Systems in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, vol. 414, 1 Aug. 2023, pp. 137536–137536, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137536>.

PYKE, G. Optimal Foraging Theory: A Critical Review. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 15, n. 1, p. 523–575, 1 jan. 1984.

Fraser, A.F. & Broom, D.M. 1997. Farm animal behaviour and welfare., 3a ed., CAB International, Wallingford, 1997, p. 446.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **O componente arbóreo em sistemas integrados de produção agropecuária.** In: SOUZA, E.D. de; SILVA, F.D. da; ASSMANN, T.S.; CARNEIRO, M.A.C.; CARVALHO, P.C. de C.; PAULINO, H.B. Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. Tubarão: Copiart, 2018. 692p.

RABEL, L. A. N. **Características do pasto e padrões de desfolha de *Megathyrsus maximus* cv. áries em sistemas integrados de produção agropecuária.** Dissertação (mestrado em produção vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2019.

ROCHA, G. O.; CHIZOTTI, F. H. M.; SANTOS, M. E. R.; SOUSA, B. M. L.; FONSECA, D. M. Perfilamento do capim-piatã submetido a regimes de desfolhação intermitente [tillering of piatã grass subject intermittent cutting]. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 71 (06), 2019.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; GOMIDE, C.A.M.; NASCIMENTO JR, D.; QUEIROZ, D.S. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.11, p.2323-2331. 2011.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C.; NASCIMENTO JR, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo. **24º Simpósio sobre Manejo da Pastagem.** FEALQ, Piracicaba, 3-5 de setembro de 2007.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ECHEVERRIA, J. R.; MIQUELOTO, T.; BERNARDON, A.; AMERICO, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões

de clima temperado da américa latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. Volumen 25(1-2): 2017.

SEVERO, P. O. **MORFOGÊNESE E DINÂMICA DO PERFILHAMENTO DE TIFTON 85 SOB IRRIGAÇÃO E DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE DESFOLHAÇÃO**. Tese (doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Santa Maria. 2020.

SOUZA, A.P., *et al.*, 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa* 1, 34–43. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>.

SOUZA, E. C.; SALMAN, A. K. D.; CRUZ, P. G.; CARVALHO, G. A.; SILVA, F. R. F. Ingestive behavior of Girolando heifers in integrated crop, livestock (ICL), and forestry (ICLF) systems. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.73, n.3, p.703-710, 2021

VARELLA, A. C. *et al.* Manejo de pastagens subtropicais e temperadas para a integração floresta-pecuária. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**, cap. 26. 2019.

VILELA, L. *et al.* Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. de (Ed.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. p.931-962.

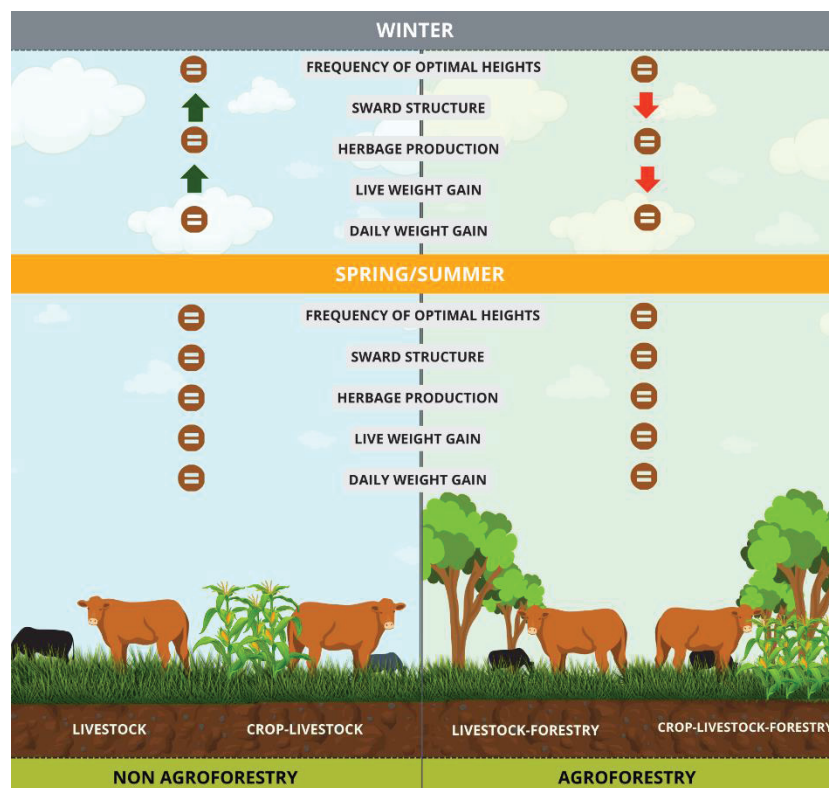
3. CAPÍTULO II

Sward structure, herbage and beef production in multi-species pasture in integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics¹

Bruna Aline Vacelik · Leandro Bittencourt de Oliveira ·

Graphical abstract

Fig. 1 – Graphical abstract of the main results obtained in the study: frequency of optimal heights, sward structure, herbage production, daily and total live weight gain, comparing the results of winter and spring/summer season, and non-agroforestry and agroforestry systems.



Highlights

- Better sward structure in winter for non-agroforestry systems;
- Higher live weight gain and stocking rate for non-agroforestry systems during winter;
- Similar herbage and animal production values during spring and summer for all systems, demonstrating the resilience of the system.
- High forage and animal production values without the use of pesticides

¹ Artigo elaborado conforme as normas da revista Agroforestry Systems (Apêndice 1).

Abstract

Integrating crop, livestock, and forestry production offers economic and environmental benefits, enhancing production and diversifying the producer's income. This study evaluated primary and secondary production in integrated crop-livestock systems (ICLS) during winter, spring, and summer over two years in Paraná, Brazil. Treatments included crop-livestock integration (CL), livestock-forestry integration (LF), crop-livestock-forestry integration (CLF), and a livestock production system without integration with crops or trees (L). The unshaded systems (L and CL) outperformed the systems with the tree component (LF and CLF) for primary production, with 4 cm taller pastures in winter, greater forage masses ($770 \text{ kg DM ha}^{-1}$) in winter and spring averages, and a total forage production $1574 \text{ kg DM ha}^{-1}$ higher for L and CL. L and CL treatments presented higher stocking rates, with 262 more kg of live weight (LW) per hectare (ha) during winter and spring, and live weight gain (LWG) $1,44 \text{ kg LW ha}^{-1}$ higher during winter, compared to LF and CLF. Our results demonstrate that systems with trees showed lower primary and secondary production, especially during winter. However, all systems exhibited similar capabilities in forage and animal production during spring and summer season, which underscores the intricate interplay between seasonal influences and the productivity of the integrated systems and highlights the potential of integrated systems, considering forage production planning adapted to seasonal variations in the Brazilian subtropics.

Keywords: agrosilvopastoral systems, animal production, forage supply, livestock productivity.

Introduction

The expanding agricultural frontiers globally exhibit signs of saturation, causing environmental issues such as water contamination, erosion, and biodiversity loss (Balbino *et al.*, 2011; Aida & Kluthcouski, 2003). With a global population of 9.1 billion by 2050 and a 50% food demand increase (FAO, 2017), Brazil as a major player in the world market, largest beef exporter and second biggest producer (ABIEC, 2022), faces the challenge to balance agricultural production and environmental preservation.

Integrated crop-livestock systems (ICLS) are characterized by temporal and spatial interactions at different scales, involving agriculture, livestock, and forestry. They offer a planned and sustainable approach to managing agricultural areas (Moraes *et al.*, 2014). These systems provide diverse benefits, including cost and risk reduction for farmers, income enhancement and diversification (Moraes *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2010), optimization of land use (Zhang *et al.*, 2019), improved soil structure (Duan *et al.*, 2019), increased organic matter content (Pardon *et al.*, 2017), biological activity (Rivest *et al.*, 2010), carbon sequestration (SHI *et al.*, 2018), reduced diseases and weed incidence and enhancements in the physical, chemical, and biological properties of the soil (Franchini *et al.*, 2010; Balbino *et al.*, 2011). Moreover, well-managed integrated systems are cited as a reliable option for climate-smart agriculture (Portugal *et al.*, 2023) and can favor the inclusion of marginalized areas into production systems, thus reducing the need to explore new areas, supporting agricultural expansion while preserving existing biomes (Sgarbossa *et al.*, 2020).

Silvopastoral systems integrates trees, forage and livestock into one land area, enhancing production diversification with various ecosystem benefits, including increased carbon sequestration, nutrient cycling, water retention, while conserving biodiversity and improving animal welfare (Amorim *et al.*, 2023). However, these systems introduce complex temporal and spatial interaction conditions compared to traditional full-sun production systems. The coexistence of upper forest and lower annual plant species within the same production area (upper - forest species and lower - annual species) can alter the interaction dynamics of the plant community, affecting the microclimate of the understory (Sgarbossa *et al.*, 2018). This integration leads to morphological adaptations and changes in sward structure, which can result in a direct reduction in forage production, grazing efficiency, and herbivore performance (Varella *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2009). These adaptative responses exhibited by forages

include increases in specific leaf area (SLA) and tiller death (Gómez et al., 2013), and a photoassimilate partitioning to aboveground parts (Rodrigues et al., 2016), and increased leaf area index (LAI) (Santiago-Hernández et al., 2016), and these alterations depend on factors such as the angle of sunlight, canopy size, tree leaf area index, canopy architecture, and leaf geometry (Righi et al., 2007; Pilau and Angelocci, 2015; Behling et al., 2016).

In ICLS, the influence of animals for the subsequent crop can be beneficial through the effects of grazing, where pasture consumption stimulates plant growth, root development and increased soil nutrient absorption, and with direct effects on nutrient cycling, through the deposition of nutrients via animal feces and urine (Silva *et al.*, 2014), and the reduction in quantity of pasture residue returned to soil in these systems is compensated by the overall positive effects of diversification on the agroecosystem (Carvalho *et al.*, 2010).

While integrated systems may increase land-use efficiency, the proper arrangement of the system's components is fundamental for capitalizing on existing synergies and enabling an increase in animal productivity (Carvalho *et al.*, 2019). In grazing-livestock farming, a key challenge is managing pasture and grazing techniques to balance plant growth, herbage consumption, and animal production (Costa et al., 2021). Portugal et al. (2023) assert that simply increasing the diversity of integrated crop-livestock systems (ICLSs) isn't sufficient to enhance agricultural system functioning. They propose that setting moderate grazing intensities is crucial for this improvement, allowing grazers to selectively target and consume the most digestible plant parts, particularly leaves, due to the optimal sward structure provided by the system (Carvalho, 2013). Effective pasture management and grazing intensity adjustments influence pasture persistence, production levels per animal and area, and the maintenance of high herbage intake rates and quality, crucial for optimal animal performance, which hinges on an optimal canopy structure (Fonseca et al., 2012; Euclides et al., 2018).

Based on the evidence that shading from the forest component can negatively impact pasture structure, our hypothesis posits that integrating the pastoral system with the silvicultural system reduces primary productivity and subsequent pasture animal production, especially during winter, and livestock with crops integration is expected to enhance sward structure and increase herbage production, with consequent increases in pasture-based animal production. Our objective was to assess sward structure, forage, and animal production throughout winter, spring, and summer in different arrangements of integrated crop-livestock systems over two production cycles (2021/22 and 2022/23).

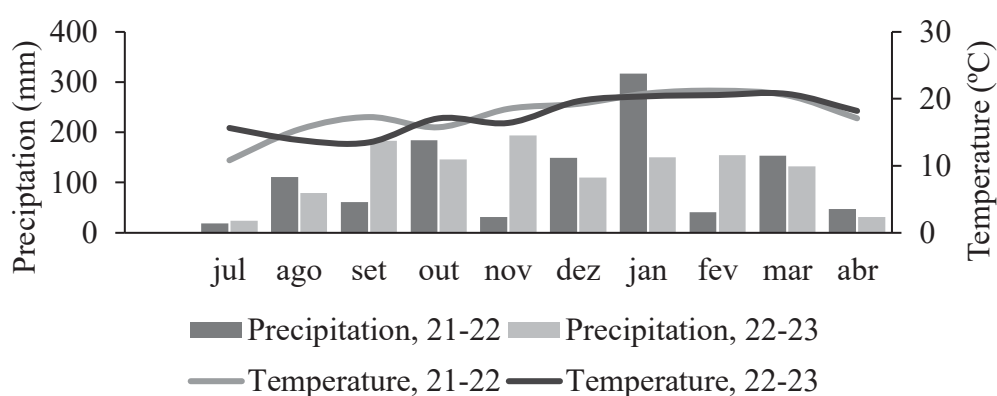
Materials and Methods

All procedures involving animals were approved by the Commission for Ethics in the use of animals of the agricultural sciences sector of the Federal University of Paraná (014/2021).

Experimental area

The study was carried out from July 16, 2021, to April 15, 2023, as part of a long-term ICLS experiment started in 2013. The experimental site is located in Pinhais, Paraná, Brazil (25°23'30" S latitude, 49°07'30" W longitude, 900 m.a.s.l.). According to the Köppen classification, the region's climate is Cfb, characterized by an average annual precipitation of 1400 mm, an average minimum temperature of 12.5°C, and an average maximum temperature of 22.5°C (Fig. 3). The experimental area is part of the Environmental Protection Area of the Iraí River, a territorial unit created by State Decree No. 1.753/96, under Law 6.938/81, which prohibits the use of pesticides.

Fig. 2 – Average temperature and monthly accumulated precipitation in the municipality of Pinhais, PR, in 2021-22 and 2022-23, data obtained from SIMEPAR meteorological station (SIMEPAR, 2023).



The long-term experiment is characterized by different combinations of pasture, crop and forest components in ICLS. In 2013, a perennial pasture (Guinea grass - *Megathyrus maximus* cv. Aries) and Eucalyptus trees (*Eucalyptus benthamii*) were planted, following the topographic level of the land. The arboreal component was initially spaced 14 m between rows

and 2 m between plants, with the row spacing set to accommodate a planter for winter and summer crop seeding. The lower branches of the eucalyptus trees were pruned in 2015, at 21 months, and in 2016 at and 33 months after planting to reduce shading. In 2017, a thinning operation was conducted, removing approximately 45% of the trees in the area, as described by Porfírio-da-Silva *et al.* (2018). In 2019, another tree row was removed, resulting in the current spacing of 28 m between rows and 11 m between plants. The forest component management followed the guidelines described by Kruchelski *et al.* (2021) in both evaluated grazing cycles.

Pastures of all systems were sown and fertilized similarly each year. During the autumn-winter period, black oat (*Avena strigosa*) was overseeded using a no-till direct seed drill without desiccation of the perennial pasture. In 2021, the black oat cultivar EMBRAPA 139 was seeded on May 15th at a density of 80 kg ha⁻¹ of seeds. In 2022, overseeding was performed on May 1st at a density of 90 kg ha⁻¹ of seeds. In both years, seeding was done with a mechanized planter with a row spacing of 0.17 m, and the winter pasture was fertilized with 200 kg ha⁻¹ of urea during oat tillering.

The cool season pasture primarily consisted of black oat accompanied by other spontaneous grasses, such as Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). The warm season pasture primarily consisted of Guinea grass, accompanied by other spontaneous perennial species, such as alexandergrass (*Urochloa plantaginea*), giant star grass (*Cynodon plectostachyus*), limpograss (*Hemarthria altissima*), brachiaria (*Urochloa* spp.), in addition to other species weeds plants.

Experimental design

The experiment was carried out using a randomized complete block design with three replicates. Treatments consisted of three ICLS combinations crop-livestock integration (CL); livestock-forest integration (LF); and crop-livestock-forest integration (CLF) and one non-ICLS treatment that consisted of pure livestock production (L). The evaluation period covered two grazing cycles, the first from July 16, 2021, to April 18, 2022, totaling 276 grazing days, and the second from July 8, 2022, to April 15, 2023, with 281 grazing days spanning three distinct seasons: winter, spring, and summer in both years. All evaluated systems had the same number of grazing days. The autumn season was not evaluated in this study as the animals left the experimental area for black oat's establishment; the autumn days prior to oat's seeding, in April, were added to the summer season in both grazing cycles.

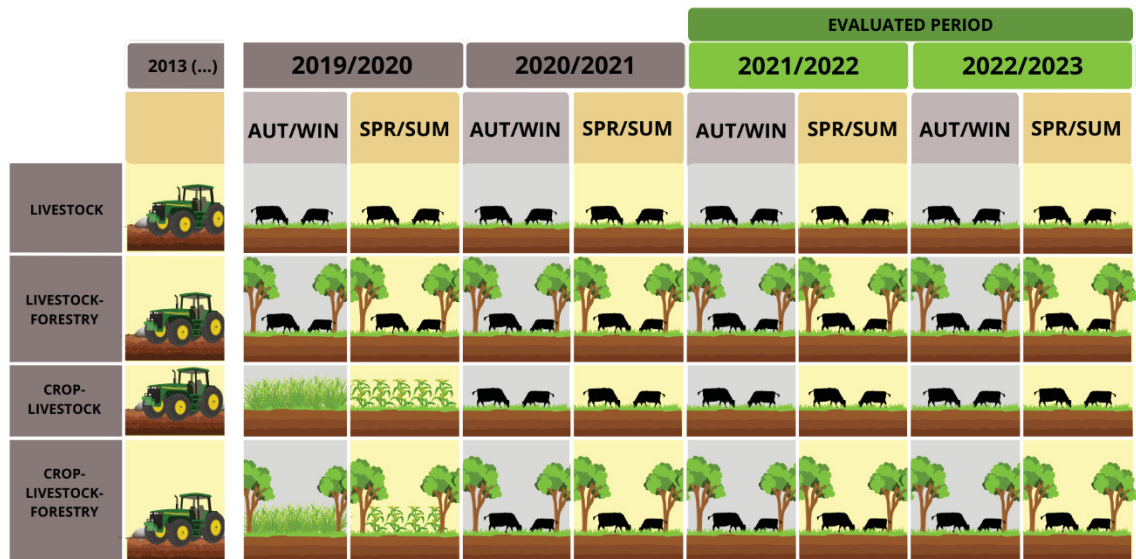
The total area of 20.9 ha was divided into 12 paddocks (experimental units) of 1.74 ± 0.30 ha each. The blocking factor was created based on the slope of the terrain and drainage patterns, with blocks divided by a divergent contour line (Fig. 3).

Fig. 3 – Experimental area of the NITA, with treatment and blocks divisions (see text), located at the Canguiri Experimental Farm of the Federal University of Parana (Pinhais, PR).



All treatments were grazed by beef steers during the warm and the cool season. LF system consisted of beef steers grazing warm-season perennial pastures and cool-season annual pastures, intercropped with eucalyptus tree alleys. CL system involved a rotation of oat as cool-season cover crop, maize cultivation under no-tillage practice, and steers grazing cool-season annual pastures and warm-season perennial pastures. The CLF system consisted of a rotation of a cool-season cover crop, maize cultivation under no-tillage practice, and steers grazing cool-season annual pastures and warm-season perennial pastures, intercropped with tree alleys. Both CL and CLF treatments used the ley farming technique, with three years of grazing and one year of maize crop during the warm season (Fig. 4). In the winter preceding the sowing of agricultural crops, there is no grazing. To facilitate no-till planting without herbicides, both in winter and summer, overseeding technique is used. In winter, frost acts as a natural desiccant during the sowing of black oats over the perennial summer pasture, while in summer, grain crops are sown after the black oat cycle (Dominischek et al., 2018)

Fig. 4 – Schematic representation of NITA experimental protocol arrangement for the evaluated treatments, in previous years, including 2013 with the beginning of the experiment, 2019 with the last maize crop in the CL and CLF systems, and the evaluated period (2021/22 and 2022/23).



Grazing management

The pasture was managed using the continuous stocking method with variable stocking rate. The grazing management was based on the *Rotatinuous* stocking concept (Carvalho *et al.*, 2016) and considered the average management target of 24 cm height for both cool and warm season pastures. This approach aimed to maximize intake rates and consequently animal performance, as proposed by Carvalho (2013). During the stocking season, sward height was measured every 15 days using a sward stick (Barthram, 1985). The sward height was measured at 150 places following a pre-defined transect in each paddock. At each site, the grass species touched by the stick was measured and identified. Afterwards, frequency height distributions were calculated for each target species (*Avena strigosa* for cool season; *Megathyrus maximus* for the warm season and both species for the spring). Subsequently, adjustments to the stocking rate (SR) were implemented using the put-and-take method (Mott and Lucas, 1952), adding or removing animals in the paddocks as needed to maintain sward heights as close to the target as possible.

Herbage mass (HM) and herbage accumulation rate (HAR) evaluations were conducted every 28 days. The HM (kg ha^{-1} of dry matter [DM]) was estimated by placing three randomly located metal frames (0.5×0.5 m) in each paddock and cutting all the herbage inside each

frame at ground level. The herbage accumulation rate (HAR) was determined using grazing exclusion cages (Klingman *et al.*, 1943), with three grazing exclusion cages per paddock, placed in representative areas of the paddock. In the LF and CLF, the cages were placed between the rows of trees at an average distance of six meters from the tree lines. Biomass cuts were conducted every 28 days, at ground level in the area inside the cage using a metal frame measuring 0.25m². The collected herbage samples were oven-dried at 55°C for 72 hours and weighed on a precision scale (0.001 g) to determine DM. HAR was calculated by the difference between the mass inside the cage (at the 28th) and from outside the cage (previous cut), divided by the numbers of days (HAR kg ha⁻¹ day⁻¹). Herbage density (HD) was obtained by dividing the HM by the sward height, adjusting its units (kg DM m⁻³). The total herbage production (THP) was calculated by multiplying the HAR by the number of days in each period, summed to the initial HM (kg ha⁻¹). Herbage allowance (HA) was obtained by the ratio of average HM to the corresponding stocking rate (SR) of the paddock, expressed in kg DM per kg of live weight (LW) (Sollenberger *et al.*, 2005). The leaf blade allowance was calculated as the ratio of leaf mass to the paddock's stocking rate (kg DM per kg LW).

Morphological separation was performed by collecting three biomass samples at ground level in each treatment, using a metal frame with an area of 0.25m². Subsequently, the botanical and structural separation of the components of the target pastures was carried out, namely: leaf mass and stem of grasses, senescent material, and other species, whether forage or not, expressed in kg DM ha⁻¹. The leaf stem ratio was calculated as the ratio between the dry mass of leaf blades and the dry mass of stems.

Livestock management

At the beginning of each stocking season, a new group of 36 steers, with similar patterns of weight, breed, and age were randomly allocated to paddocks (7±10 months of age; 140±170 kg of live weight). The three test steers within each productive year (cool and warm seasons) remained in the same paddock throughout the stocking season. The animals had access to fresh water and *ad libitum* mineral salt in their paddocks, and the control of endo and ectoparasites was performed according to Molento *et al.*, (2013).

From the beginning to the end of the two stocking periods of each productive year, the steers were weighed every 28 days. The average daily gain (ADG, kg animal⁻¹ day⁻¹) was calculated by the difference between the final and initial live weight (LW) of each test steer,

divided by the number of grazing days in each stocking period. The stocking rate (SR, kg ha⁻¹) was determined by adding the live weight of the test steers and the put-and-take steers, multiplied by the number of days they stayed in their paddocks, and then dividing by the paddock area. Consequently, the live weight gain per area (LWG, kg ha⁻¹ day⁻¹) for each stocking period was derived from the SR per hectare and the average ADG of the three test steers in that period.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using the software R 4.2.0 package “*Exp.Des*”. The assumptions of normality were checked using the Shapiro-Wilk test, and variance homogeneity was assessed using the Bartlett test. When necessary, results were transformed by root square or logarithmic functions. The variables were subjected to analysis of variance following a two-factor model, considering system × season (Equation 1) with a significance level of 5% ($p < 0.05$). Systems and seasons of the year were considered fixed effects. When significant differences were detected, means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$).

$$Y_{ijk} = m + B_k + G_i + A_j + GA_{ij} + E_{ijk} \text{ (Equation 1)}$$

Where Y_{ijk} = observed value in the experimental plot; m = overall average of all measurements; B_k = effect of the block factor; G_i = effect of the system factor; A_j = effect of the season factor GA_{ij} = effect of interaction between system (G) and season (A) and E_{ijk} = random error component.

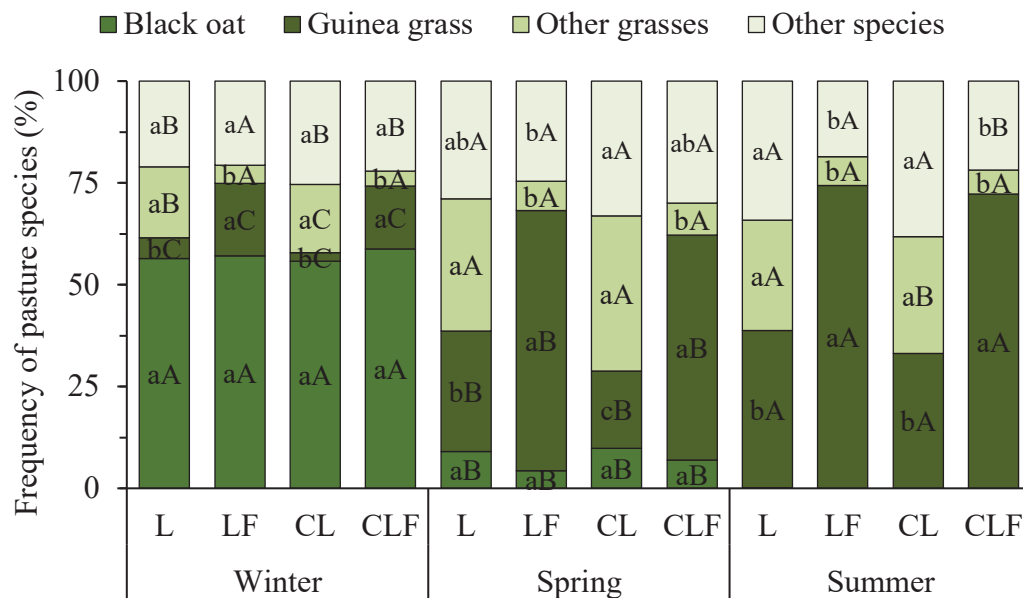
Results

Sward structure and herbage production

During winter, black oat and other plant species (non-grasses) constituted, on average, 57% and 22% of the pasture across all systems, respectively (Figure 5). In winter, integrated systems with trees exhibited a higher frequency of guinea grass and a lower contribution from other grasses compared to full-sun systems (L and CL). In spring, the frequency of black oat was consistent at 7% across all systems, and frequency of guinea grass increased in all systems compared to winter, with LF and CLF systems showing a two times higher frequency compared

to other systems. As there is no black oat in summer, the frequency of guinea grass averaged 73% in LF and CLF systems, while it was 36% in L and CL systems.

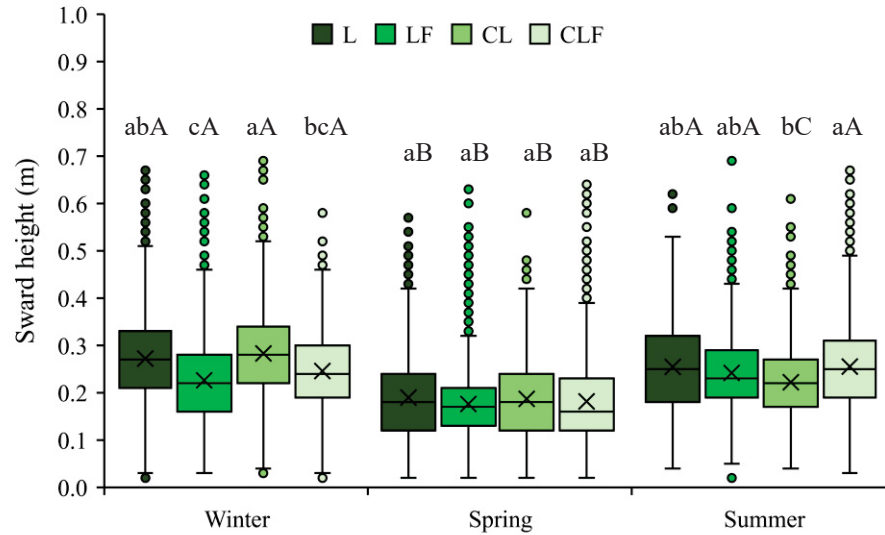
Fig. 5 – Frequency of Black Oat, Guinea grass, other grasses and other species in Livestock (L); Livestock-Forestry (LF); Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF) in ICLS, in winter, spring and summer season.



*Capital letters indicate significant differences between seasons for each status, lowercase letters represent significant differences between status for each season by Tukey test ($p < 0.05$).

In winter, the height was, on average, 4 cm higher in CL (0.28 m) compared to LF and CLF (0.24 m). In spring the height was 0.17 m similar across all systems. During the summer, pasture height was 2 cm higher for CLF (0.28 m), compared to CL (0.22 m) ($p = 0.0005$; Figure 6).

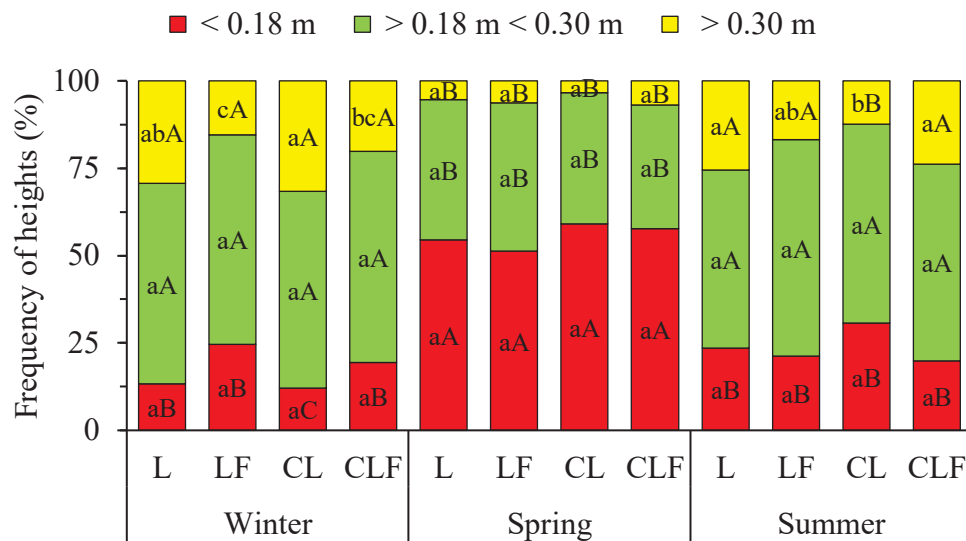
Fig. 6– Black Oat and Guinea grass heights in Livestock (L); Livestock-Forestry (LF); Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF) in ICLS, in winter, spring and summer season.



*Capital letters indicate significant differences between seasons for each treatment, lowercase letters represent significant differences between treatments for each season by Tukey test ($p < 0.05$).

During winter and summer, 58% of height points of black oat and guinea grass were within the 0.18 to 0.30 m management range, with no significant different between systems. In spring, 39% frequency of height points was between 0.18 to 0.30 m height. While the frequency of height points < 0.18 m was 56% in spring and 21% in the average of winter and summer (Figure 7).

Fig. 7 – Frequency of heights of Black Oat and Guinea grass IN Livestock (L); Livestock-Forestry (LF); Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF) in ICLS, in winter, spring and summer season.



*Capital letters indicate significant differences between seasons for each status, lowercase letters represent significant differences between status for each season by Tukey test ($p < 0.05$).

In winter and spring, average herbage mass was 86% and 48% higher in L and CL compared to LF and CLF, respectively (Table 1). In summer, herbage mass was 1917 kg ha⁻¹ similar across all systems. On average, leaf mass was 548 kg ha⁻¹ similar among systems. Leaf mass was 16% and 41% higher in winter compared to summer and spring, respectively (Table 2). In winter, average stem mass was 567 kg ha⁻¹ higher for L and CL compared to LF and CLF. In spring and summer, stem mass was similar among systems (Table 1). In winter, on average across systems, senescent material was 191 kg ha⁻¹ higher in L and CL compared to LF and CLF. In winter and spring, senescent material mass was on average 247 kg ha⁻¹ lower for LF compared to summer (Table 1).

Table 1 – Herbage mass, stem mass and dead material mass in ICLS, in winter, spring and summer season.

Systems	Seasons		
	Winter	Spring	Summer
Herbage mass (kg ha ⁻¹)			
L	1860 ^{aA}	1803 ^{abA}	1968 ^{aA}
LF	1059 ^{bB}	1310 ^{bcB}	1917 ^{aA}
CL	2223 ^{aA}	1859 ^{aA}	1875 ^{aA}
CLF	1132 ^{bB}	1165 ^{cB}	1960 ^{aA}
Stem mass (kg ha ⁻¹)			
L	905 ^{aA}	537 ^{aB}	649 ^{aAB}
LF	389 ^{bB}	352 ^{aB}	787 ^{aA}
CL	1030 ^{aA}	602 ^{aB}	614 ^{aB}
CLF	412 ^{bB}	352 ^{aB}	743 ^{aA}
Dead material mass (kg ha ⁻¹)			
L	312 ^{abA}	287 ^{aA}	440 ^{aA}
LF	179 ^{bB}	206 ^{aB}	412 ^{aA}
CL	427 ^{aA}	435 ^{aA}	261 ^{aA}
CLF	177 ^{bA}	251 ^{aA}	326 ^{aA}

*Averages followed by the same capital letter on the column and lowercase on the row do not differ among themselves by Tukey test ($p < 0.05$).

Variables such as other materials mass and leaf stem ratio did not show significant interactions between systems and seasons ($p > 0.05$; Table 2). Herbage density was, on average, 0.61 kg DM m² between systems. Across seasons, herbage density was 36% higher for spring and summer, compared to winter.

Herbage allowance was 2.5 kg DM⁻¹ kg LW⁻¹ similar across systems, and 0.8 and 1.4 kg DM⁻¹ kg LW⁻¹ higher in winter compared to spring and summer, respectively. Leaf blade allowance was 0.5 kg DM⁻¹ kg LW⁻¹ similar across systems and seasons (Table 2).

On average across systems, herbage accumulation rate was 28% higher in L compared to the average of the other systems. In spring, the herbage accumulation rate was 25% higher compared to summer. The total herbage production was 1573.6 kg ha⁻¹ higher in L and CL compared to LF and CLF, and similar between seasons (Table 2).

Table 2: Herbage Density (HD; kg DM m⁻³), Leaf Mass (LM; kg ha⁻¹), Other Materials Mass (OMM; kg ha⁻¹), Leaf:Stem Ratio (L:S ratio), Herbage Accumulation Rate (HAR; kg ha⁻¹day⁻¹), Herbage Allowance (HA; kg DM kg LW⁻¹), Leaf Blade Allowance (LBA; kg DM kg LW) And Total Herbage Production (THP kg ha⁻¹) in Livestock (L), Livestock forestry (LF), Crop-Livestock (CL), Crop-Livestock-forestry (CLF), in winter, spring and summer seasons.

	Systems (Sy)				Seasons (S)			p value		
	L	LF	CL	CLF	Winter	Spring	Summer	Sy	S	Sy×S
HD	0.66	0.57	0.65	0.54	0.48 ^b	0.62 ^a	0.69 ^a	0.350	0.000	0.176
LM	605	542	537	509	639 ^a	453 ^b	552 ^{ab}	0.472	0.008	0.072
OMM	419	326	649	312	407	334	510	0.074	0.286	0.580
L:S ratio	1.1	1.4	1.1	1.1	1.1	1.3	1.1	0.086	0.248	0.154

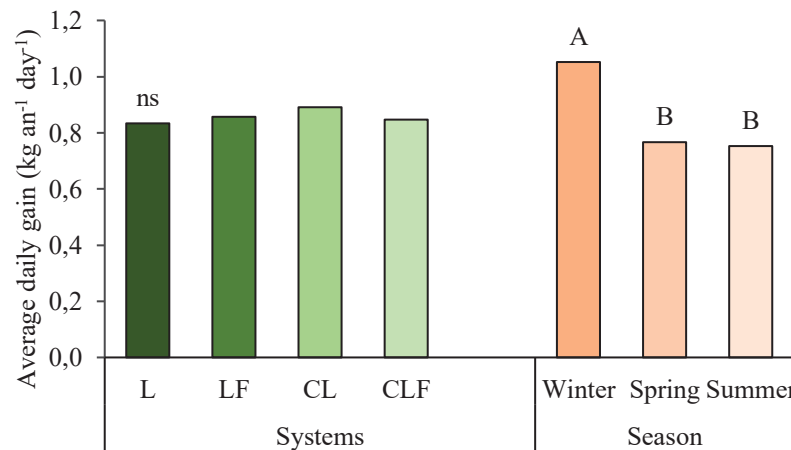
HA	2.5	2.5	2.7	2.3	3.3 ^a	2.5 ^b	1.9 ^c	0.392	0.000	0.789
LBA	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.807	0.105	0.995
HAR	63.7 ^a	43.7 ^c	58.7 ^{ab}	46.2 ^{bc}	55.3 ^{ab}	58.9 ^a	47.1 ^b	0.000	0.014	0.452
THP	6317 ^a	4352 ^b	5801 ^a	4619 ^b	5449	4977	5391	0.000	0.287	0.338

* Averages followed by the same do not differ among themselves by Tukey test ($p < 0.05$).

Animal production

The average daily gain was $0.857 \text{ kg an}^{-1} \text{ day}^{-1}$ similar between systems. The average daily gain was 38% higher in winter ($1.05 \text{ kg an}^{-1} \text{ day}^{-1}$) than average of spring and summer ($0.760 \text{ kg an}^{-1} \text{ day}^{-1}$). (Figure 8; $p = S_y = 0.884$; $S = 0.000$; $S_{yxS} = 0.744$)

Fig. 8 – Average Daily Gain of steers in Livestock (L); Livestock-Forestry (LF); Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF) in ICLS, in winter, spring and summer season.



*Capital letters indicate significant differences between seasons by Tukey test ($p < 0.05$).

During winter, the average stocking rate was 89% lower in LF and CLF, compared to L and CL, respectively ($341.6 \text{ vs } 646.6 \text{ kg ha}^{-1}$), and 44% lower during the spring ($497.2 \text{ vs } 715.3 \text{ kg ha}^{-1}$). In the summer, stocking rate was similar between all systems, with an average of $1094.8 \text{ kg ha}^{-1}$ (Table 3; $p = 0.00095$).

In winter, the LWG was 81% greater for L and CL compared to LF and CLF ($3.22 \text{ vs } 1.77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$). In spring and summer, LWG was $1.98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$, similar between systems (Table 3; $p = 0.00023$).

TABLE 3 – Stocking Rate and Live Weight Gain of steers in Livestock (L); Livestock-Forestry (LF); Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF) in ICLS, in winter, spring and summer season.

Systems	Seasons		
	Winter	Spring	Summer
	Stocking rate (kg ha ⁻¹)		
L	670 ^{aB}	658 ^{abB}	1037 ^{aA}
LF	328 ^{bB}	463 ^{bB}	1103 ^{aA}
CL	623 ^{aB}	772 ^{aB}	1014 ^{aA}
CLF	355 ^{bB}	532 ^{bB}	1226 ^{aA}
	Live weight gain (kg ha ⁻¹ day ⁻¹)		
L	3.3 ^{aA}	1.8 ^{aB}	2.0 ^{aB}
LF	1.6 ^{bA}	1.5 ^{aA}	2.1 ^{aA}
CL	3.1 ^{aA}	1.9 ^{aB}	2.3 ^{aB}
CLF	1.9 ^{bAB}	1.5 ^{aB}	2.7 ^{aA}

* Averages followed by the same capital letter on the column and lowercase on the row do not differ among themselves by Tukey test ($p < 0.05$).

Discussion

Sward structure

The analysis of frequency of species on pasture composition in different integrated systems revealed significant seasonal patterns (Figure 5). In winter, there was a prevalence of black oat (57%) and other plant species (22%) in the pasture, with integrated systems featuring trees showing (LF and CLF) a higher frequency of guinea grass and a lower contribution from other grasses compared to full-sun systems (L and CL). In spring, the frequency of black oat remained consistent at 7% across all systems, while the frequency of guinea grass increased compared to winter. Notably, in LF and CLF systems, this frequency was twice as high compared to other systems. With the absence of black oat in summer, the frequency of guinea grass averaged 73% in LF and CLF systems, while it was 36% in L and CL systems. The results indicate that the presence of trees in LF and CLF treatments contributes to the maintenance of guinea grass throughout the seasons. This phenomenon can be attributed to the microclimate generated by the trees, providing protection against winter frosts and favoring faster regrowth in spring and summer.

Spring forage emptiness is a challenge faced by Brazilian livestock. With winter forages declining their production and summer species not yet at their maximum productivity, we have lower forage supply and nutritional value of the pasture available to the animals (Malaguez *et al.*, 2017). In this study, it was observed that the presence of trees contributed to maintaining

the summer forage (Guinea grass) throughout the seasons, consequently reducing this spring forage gap and maintaining levels of forage and animal production during this period.

During the winter, there was an average 4 cm lower in the height of black oat in LF and CLF (Figure 6). However, the height remained within the range of 0.18 and 0.30 m established by Mezzalira *et al.* (2014) for black oat – with an average of 0.24 m in LF and CLF systems. As part of the protocol design, in all systems, regardless of their specific arrangement, at least three animals were kept. Adjustments in stocking rate, made to maintain pasture height, were carried out solely by allocating or removing the regulator animals, based on their live weight and the pasture's carrying capacity. This difference in sward height, consequently, resulted in lower herbage mass in the tree-integrated systems. However, all systems maintained a similar herbage density.

Kunrath *et al.* (2020), evaluating four heights (10, 20, 30, and 40 cm) of a black oat + annual ryegrass mixture found a high correlation between height and forage mass, which increased by 88.7 kg DM per hectare for each centimeter of sward height. In this study, we observed during the winter period, the herbage mass of black oat was higher in L and CL; (Table 1), which had the greatest heights in the same season (Figure 6).

Similar results in height differences were found by Oliveira *et al.* (2022) with *Urochloa decumbens* and Eucalyptus, showing lower forage heights in systems integrated with trees compared to single pasture systems. Tullio (2015), evaluating CLF and CL systems in cool season pasture (*Avena strigosa* + *Lolium multiflorum*), also found lower sward heights (three centimeters less) in the system integrated with the tree component.

Across all systems, the majority of height measurements ranged between 0.18 and 0.30 meters (Figure 7). This optimal management height was determined by Mezzalira *et al.* (2014) for black oat in “Rotatinous” stocking, aiming to maximize the animal's intake rate and consequent performance, by allowing grazers to selectively target and consume the most digestible plant parts, particularly leaves, due to the optimal sward structure provided by the system (Carvalho, 2013). This illustrates the feasibility of implementing the “Rotatinuous” stocking in continuous grazing scenarios, with the development of a sward structure conducive to maintaining high ingestion rates. The major frequency of lower heights (>0.18 m) observed in the spring in all systems and lower frequency of points with optimal management heights (< 0.18 to 0.30 m), are probably due to the transition from the end of the black oat cycle to the start of guinea grass regrowth. Sward height, for grazing herbivores, signifies the amount of

available biomass, with opportunities for high intake and greater bite depths (Carvalho *et al.*, 2001; Mezzalana *et al.*, 2018), and when grazing animals encounter sward structures that significantly restrict bite size, they struggle to maintain intake rates, leading to competition for time between grazing, rumination, and other activities, consequently reducing the daily intake (Hodgson *et al.*, 1997). In spring it was possible to observe a smaller average daily gain (ADG) (<38%; Figure 8) compared to winter, but similar summer.

During the summer period, sward height (Figure 6) and herbage mass (Table 1) were similar between systems. Baungratz *et al.* (2019) observed higher herbage masses in the full-sun treatment, compared to a silvopastoral system (*Cordia trichotoma* and *Peltophorum dubium*) in Aruana pasture (*Megathyrus maximus* cv Aruana), and higher canopy heights for the silvopastoral system.

According to Carvalho *et al.* (2001), the greater the height and forage mass, the fewer the apprehension movements and the greater the chewing movements. Aranha *et al.* (2019), evaluating *Urochloa brizantha* cv Marandu in ICLS with two tree densities (CLF, 196 and 448 trees ha⁻¹) and in full sunlight (CL), found higher forage mass in the full sunlight treatment compared to those integrated with trees.

For sward structural variables, similar leaf mass was found among all systems. Differences in leaf mass (16 and 41% higher in winter compared to summer and spring, respectively; Table 2) may have occurred due to the forage structure of the season, with black oats in the cool season period and Guinea grass in the warm season period.

Herbage production

Total herbage production was similar between seasons (Table 2) demonstrating the system's capacity to produce 15.817 kg DM ha⁻¹ throughout the year, but it was 36% higher in full sunlight systems (L and CL) compared to ICLS designs with trees (Table 2). Taiz *et al.* (2015) reported that increased competition for water and radiation results in lower biomass in shaded environments, as observed in this study, specially during the winter period. In tree-integrated systems, there is a reduction in radiation intensity, especially in the photosynthetically active range, requiring plant adaptation to cope with changes in light quality, influencing morphological characteristics and forage production. Tolerance strategies include adjustments in leaf area, specific leaf weight, chlorophyll density, crude protein content and leaf:stem ratio, with reserve allocation and changes in leaf angle (Garcez Neto *et al.*, 2010;

Varella *et al.*, 2019). Oliveira *et al.* (2022) in a meta-analysis that included *Eucalyptus spp.* and *Urochloa spp.* showed lower FM and forage density in silvopastoral systems (SPS), compared to grass monoculture, lower pasture heights in SPSs with closer tree row spacing (1-14m), likely due to reduced light and growth limitation. In contrast, SPSs with wider tree row spacing (>28m) had greater pasture height, as plants could grow taller to reach higher strata and capture more light. FM and FA have a direct influence in the SR, which in turn influences AWG; and lower values of those variables resulted in lower SR and AWG, but equal values of ADG between systems in their meta-analysis.

Herbage allowance is described as an instantaneous measure of forage availability per unit demand, and is an interesting tool to explain different performances among treatments, as, given an amount of herbage mass per unit area, it has a direct influence on stocking rate (Moojen *et al.*, 2021). In this study, HA was 0.8 and 1.4 kg DM⁻¹ kg LW⁻¹ higher in winter compared to spring and summer, respectively, with no statistically significant differences between systems. The leaf blade allowance was similar for systems and seasons (Table 2). Carvalho *et al.* (2001) state that forage allowance is directly related to the animals' grazing selection opportunity, both in plant species and in the portion to be consumed, allowing for the ingestion of a diet richer in nutrients and with lower energy expenditure.

Animal production

With high herbage allowance values in all systems during the two grazing cycles (Table 2), steers had the opportunity to select and consume strata of better quality, directly influencing the ADG values, which also did not differ between systems, with an average of 0.857 kg an⁻¹ day⁻¹.

The ADG was directly affected by the seasons, with a 38% higher ADG in winter (1.05 kg an⁻¹ day⁻¹) compared to spring and summer (Figure 9), similar to the results found by Kunrath *et al.* (2020). These results can be explained by the difference in the HA (Table 2) and composition of the animals' diet, with the majority consisting of C₃ plants in winter and C₄ plants in spring and summer (Portugal *et al.*, 2023). It is important to highlight that the metabolic pathway of C₄ plants often results in an increased rate of lignin deposition in plant tissues, and this alteration can significantly influence forage intake and digestion by ruminants (Archimède *et al.*, 2011).

Mainly during winter, the SR was higher in L and CL (average 647 kg LW ha⁻¹) compared to the average of LF and CLF (342 kg ha⁻¹; Table 3). The SR was adjusted to maintain sward height close to an average of 24 cm for black oats and guinea grass in all systems, as presented previously in this study. Crestani (2023) reported a 47% higher stocking rate in L, and Tullio (2015) presented higher stocking rates (1119 kg LW ha⁻¹) for the system without the forest component, against 877 kg LW ha⁻¹ in the tree-pasture system. Furthermore, Portugal *et al.*, (2023) in the beginning of same protocol did not reported differences in stocking rates between systems (L, LF, CL and CLF) but also observed a SR higher during the summer compared to winter, similar to what was observed in this study. The variations in stocking rates can be attributed to differences in HAR among the systems. Specifically, during the winter season, L and CL systems exhibited a higher sward height (Figure 7), herbage mass (Table 1), HAR and THP (Table 2) compared to LF and CLF. The presence of trees in LF and CLF systems likely contributed to a decrease in available sunlight, impacting the photosynthetic activity and overall productivity of the pasture, resulting in decreased height, forage mass, and total forage production in these systems.

As for LWG, Oliveira *et al.* (2022), in their meta-analysis, reported that LWG is directly affected by the SR, which is, in turn, influenced by HAR. Therefore, with lower values of HAR and THP, animal production is consequently reduced. In this study, we observed the highest values of LWG and SR in the same systems and seasons where higher heights, FM, and THP were observed using sward height as criterion of management. Our results demonstrated 81% higher LWG for L and CL during the winter compared to LF and CLF, but with no differences between systems in the spring and summer (Table 3).

Therefore, this study showed that systems integrated with the forestry component usually have lower rates of primary and secondary production, especially in the winter period. However, in the summer period, these systems present production rates equal to those in full sun, demonstrating that, on rural properties in the Brazilian subtropics, there is the possibility of using different integration arrangements, considering a forage production planning appropriate to the different conditions offered throughout the year and also highlighting the productive capacity and lower environmental impact of integrated crop-livestock systems in multi-specific pastures and without the use of pesticides to control pests, diseases or weeds.

Conclusion

In a subtropical environment in southern Brazil, systems integrated with the arboreal component (LF and CLF) exhibited lower herbage production in annual cool season pastures, with consequent reduction in pasture-based animal production, compared to crop-livestock integration and single livestock. Nevertheless, during summer and spring, all systems, irrespective of their specific configurations, exhibited comparable herbage and animal productivity. This suggests that despite seasonal fluctuations, the integration with an arboreal component does not significantly hinder the overall productivity. These findings underscore the robustness and adaptability of integrated systems, emphasizing their potential for sustainable agricultural practices in subtropical regions, maintaining the system's production throughout the seasons in multi-specific pastures without the use of pesticides, and the integration with the arboreal component can be an alternative for spring forage emptiness in southern Brazil. While our findings partially support the initial hypothesis, they also point to the need for further investigation into the specific mechanisms underlying the observed seasonal fluctuations and their implications for integrated system management.

Author contributions All authors of made a significant and equivalent contribution to the design, execution, and analysis of the research data presented in this article.

Declarations

Conflict of interest The authors declare that they have no competing interests, financially or otherwise, directly or indirectly related to this work.

References

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da pecuária no Brasil**. Retrieved January 08, 2024, from Beef report website: https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022_atualizado_jun2022.pdf. 2022.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. **Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados**. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.
- AMORIM *et al.* Temperate silvopastures provide greater ecosystem services than conventional pasture systems. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 31 out. 2023.
- ARANHA, H. S. *et al.* Produção e conforto térmico de bovinos da raça Nelore terminados em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1686–1694, out. 2019.
- ARCHIMÈDE, H. *et al.* Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, 2011, 166, pp.59-64. [ff10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003)ff. fhal-02647800f
- BALBINO, L.C. *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.i-xii, 2011.
- BAUNGRATZ, A. R. *et al.* Production and morphogenetic traits of *Megathyrus maximus* “Aruana” with nitrogen fertilization in silvopastoral and full sun systems. **Semináncias Agrárias**, v. 44, n. 3, p. 1207–1224, ago. 2023.
- BEHLING, A. *et al.* Tracking leaf area index and coefficient of light extinction over the harvesting cycle of black wattle. **J. For. Res.** 27, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0279-1>
- CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; ANDRADE, A.C. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicais**, v.17, n.1, p.24-30, 1995.
- CARVALHO, P. C. F., *et al.* Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: Mattos, W. R. S. (Org.). A produção animal na visão dos brasileiros. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Piracicaba, 2001, p.853-871. 2001.
- CARVALHO, P. C. DE F., GENRO, T. C. M., GONÇALVES, E. N., BAUMONT, R. A. estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre o consumo e a produtividade. In: Reis, R. A. *et al.* (Orgs.). **Volumosos na Produção de Ruminantes**, Jaboticabal, Funep. 2005, p. 107-124.

- CARVALHO, P. C. F. *et al.* **Como a estrutura do pasto influencia o animal em pastejo? Exemplificando as interações planta-animal sob as bases e fundamentos do pastoreio 'rotatínuo'.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 8., 2016, Viçosa, MG. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2016. v. 1, p. 303-333
- CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K; MEZZALIRA, J.C. *et al.* Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interfase planta:animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.109-122, 2009.
- CARVALHO, P.C. de F. *et al.* Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.
- CARVALHO, P.C.F. Harry Stobbs Memorial Lecture: can grazing behavior support innovations in grassland management? **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales** 1, 137–155., 2013 [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)137-155](https://doi.org/10.17138/tgft(1)137-155).
- 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, 21 out. 2019.
- COSTA, C. M. *et al.* Grazing intensity as a management strategy in tropical grasses for beef cattle production: a meta-analysis. **Animal**, v. 15, n. 4, p. 100192, 1 abr. 2021.
- CRESTANI, C. **Produtividade e eficiência de sistemas pastoris em sistemas integrados de produção agropecuária.** Dissertação (mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2023.
- DOMINSCHKE, R. *et al.* Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável: Boletim Técnico do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária. Curitiba: UFPR, 2018. 78p. Accessed on: Oct. 4, 2022.
- DUAN, Z.P. *et al.* Interspecific interaction alters root morphology in young walnut/wheat agroforestry systems in Northwest China. **Agrofor. Syst.** 93, 419–434. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0133-2>. 2019.
- EUCLIDES, V.P.B. *et al.* Beef cattle performance in response to Ipyorã and Marandu Brachiaria grass cultivars under rotational stocking management, 2018. **Rev. Bras. de Zootec.** 47, 1–10. <https://doi.org/10.1590/rbz4720180018>
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: trends and challenges.** Roma, 2017. Retrieved June 16, 2023. Available in: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.
- FONSECA, L. *et al.* Management targets for maximizing the short-term herbage intake rate of cattle grazing in Sorghum bicolor. **Liv. Sci.** 145, 205–211, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>.

- FRANCHINI, J. C. *et al.* **Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu.** Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 77). Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/CT77VE.pdf>.
- GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 394–406, jan. 2015.
- GÓMEZ, S., GUENNI, O., BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. **Grass Forage Sci.** 68, 395–407, 2013. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>.
- HODGSON, J., COSGROVE, G.P., WOODWARD, S.J.R. Research on foraging behaviour: progress and priorities. In: Buchanan-Smith, J.G., Bailey, L.D., McCaughey, P. (Eds.), *Proceedings of the 18th International Grassland Congress*. Winnipeg, Canada, pp. 109–118, 1997.
- KUNRATH, T. R. *et al.* Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102716, jan. 2020.
- LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; SADRAS, V.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. A review. **Agron. Sustain. Dev.** 2019, 39, 27.
- MALAGUEZ, E. G. *et al.* Alternatives for spring forage emptiness in Pampa, Brazil. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 58-64, out./dez. 2017. ISSN 2358-6303.
- MEZZALIRA, J. C. *et al.* Behavioural Mechanisms of Intake Rate by Heifers Grazing Swards of Contrasting Structures. **Applied Animal Behaviour Science**, vol. 153, 1 Apr. 2014, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.
- MEZZALIRA, J.C. *et al.* The Ingestive behaviour of cattle in large-scale and its application to pasture management in heterogeneous pastoral environments. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.2, n.7, p.909-916, 2012.
- MOOJEN, F. G. *et al.* Herbage allowance and stocking method effect on grazing systems: Results of a long-term experiment. **Grass and Forage Science**, 23 nov. 2021.
- MORAES, A. *et al.* **Avanços técnico-científicos em SIPA no subtrópico brasileiro.** Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Campus Pato Branco, 2017. p. 102–124. Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/patobranco/pb->

agronomia/documentos/materiais-de-apoio-do-curso/palestras-intensificacao-com-sustentabilidade

- MORAES, A. *et al.* Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **Eur. J. of Agr.** 57(1), 4-9. Doi: 10.1016/j.eja.2013.10.004. 2014.
- OLIVEIRA, A. F. *et al.* Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with Eucalyptus and Urochloa: Systematic review and meta-analysis. **Liv. Sci.**, p. 104973, 2022.
- PARDON, P. *et al.* Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. **Agric. Ecosyst. Environ.** 247, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>. 2017.
- PILAU, F.G., ANGELOCCI, L.R.. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. *Bragantia* 74, 476–482, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0130>.
- PORTUGAL, T. B., *et al.* “Methane Emissions and Growth Performance of Beef Cattle Grazing Multi-Species Swards in Different Pesticide-Free Integrated Crop-Livestock Systems in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, vol. 414, 1 Aug. 2023, pp. 137536–137536, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137536>.
- RIGHI, C.A. *et al.* Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. **Rev. Árvore** 31, 195–207, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200002>.
- RIVEST, D., COGLIASTRO, A., BRADLEY, R.L., OLIVIER, A. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. **Agrofor. Syst.** 80, 33–40, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9342-7>.
- RODRIGUES, M.O.D. *et al.* Mombasa grass characterisation at different heights of grazing in an intercropping system with Babassu and monoculture. *Semin. Agrar.* 37, 2085–2098, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p2085>.
- SANTIAGO-HERNÁNDEZ, F. Physiological and production responses of four grasses from the genera Urochloa and Megathyrsus to shade from Melia azedarach L. **Agrofor. Syst.** 90, 339–349, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9858-y>.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Agroforestry systems and their effects on the dynamics of solar radiation and soybean yield. **Comun. Sci.** 9, 492–502, 2018. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i3.2765>.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in southern Brazil. **Agricultural Systems**, v. 184, p. 102911, 1 set. 2020.
- SHI, L., FENG, W., XU, J. & KUZYAKOV, Y. Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. **Land Degrad. Dev.** 29, 3886–3897 (2018).

- TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. Plant Physiology and Development. In **Journal of Chemical Information and Modeling** (6th ed., p. 761). Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2015.
- VARELLA, A. C. *et al.* Manejo de pastagens subtropicais e temperadas para a integração floresta-pecuária. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**, cap. 26. 2019.
- ZHANG, W. *et al.* Competitive interaction in jujube tree/cotton agroforestry system in Xinjiang province, northwestern China. **Agrofor. Syst.** 93, 591–605, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0153-y>.

4. REFERÊNCIAS GERAIS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da pecuária no Brasil**. Retrieved January 08, 2024, from Beef report website: https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022_atualizado_jun2022.pdf. 2022.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. **Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados**. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.
- ALVES, C. P. *et al.* Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e10610615405–e10610615405, 22 maio 2021.
- AMARAL, G. A. Consumo de forragem e emissão de metano por ovinos em ambientes pastoris. Tese (doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Santa Maria, 2011)
- AMORIM *et al.* Temperate silvopastures provide greater ecosystem services than conventional pasture systems. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 31 out. 2023.
- ARANHA, H. S. *et al.* Produção e conforto térmico de bovinos da raça Nelore terminados em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1686–1694, out. 2019.
- ARCHIMÈDE, H. *et al.* Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, 2011, 166, pp.59-64.
ff10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003ff. fffal-02647800f
- BALBINO, L.C. *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.i-xii, 2011.
- BAUNGRATZ, A. R. *et al.* Production and morphogenetic traits of *Megathyrsus maximus* “Aruana” with nitrogen fertilization in silvopastoral and full sun systems. **Semina-ciencias Agrarias**, v. 44, n. 3, p. 1207–1224, ago. 2023.
- BEHLING, A. *et al.* Tracking leaf area index and coefficient of light extinction over the harvesting cycle of black wattle. **J. For. Res.** 27, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0279-1>
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.92, e20180425, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>.
- BRISKE, D. D. *et al.* Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. **Rangeland Ecology & Management**, v. 61, n. 1, p. 3–17, jan. 2008.

CAMPOS, B. M. Produção animal agroecológica em sistemas integrados de produção agropecuária. Dissertação (mestrado em produção vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2019.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; ANDRADE, A.C. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicais**, v.17, n.1, p.24-30, 1995.

CARVALHO, P. C. F., *et al.* Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: Mattos, W. R. S. (Org.). A produção animal na visão dos brasileiros. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Piracicaba, 2001, p.853-871. 2001.

CARVALHO, P. C. DE F., GENRO, T. C. M., GONÇALVES, E. N., BAUMONT, R. A estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre o consumo e a produtividade. In: Reis, R. A. *et al.* (Orgs.). **Volumosos na Produção de Ruminantes**, Jaboticabal, Funep. 2005, p. 107-124.

CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K; MEZZALIRA, J.C. *et al.* Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interfase planta:animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.109-122, 2009.

CARVALHO, P.C. de F. *et al.* Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, P.C.F. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicais**, 1(2), pp.137-155. 2013.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Como a estrutura do pasto influencia o animal em pastejo? Exemplificando as interações planta-animal sob as bases e fundamentos do pastoreio 'rotatínuo'. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 8., 2016, Viçosa, MG. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2016. v. 1, p. 303-333

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, 21 out. 2019.

COSTA, C. M. *et al.* Grazing intensity as a management strategy in tropical grasses for beef cattle production: a meta-analysis. **Animal**, v. 15, n. 4, p. 100192, 1 abr. 2021.

CRESTANI, C. **Produtividade e eficiência de sistemas pastoris em sistemas integrados de produção agropecuária**. Dissertação (mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2023.

CURTIS, A.K., SCHARF, B., EICHEN, P.A., SPIERS, D.E., 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with

access to shade. **Journal of Thermal Biology**. 63, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.11.015>.

DOMINSCHKE, R. *et al.* Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável: Boletim Técnico do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária. Curitiba: UFPR, 2018. 78p. Accessed on: Oct. 4, 2022.

DUAN, Z.P. *et al.* Interspecific interaction alters root morphology in young walnut/wheat agroforestry systems in Northwest China. **Agrofor. Syst.** 93, 419–434. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0133-2>. 2019.

DUCHINI, P. G. **Dinâmica do acúmulo e do perfilhamento em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou em consórcio**. Dissertação (mestrado em ciência animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2013.

DOMICIANO, L.F., *et al.*, 2018. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Anim. Prod. Sci.** 58, 920–929. <https://doi.org/10.1071/AN16351>.

EUCLIDES, V.P.B. *et al.* Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu Brachiaria grass cultivars under rotational stocking management, 2018. **Rev. Bras. de Zootec.** 47, 1–10. <https://doi.org/10.1590/rbz4720180018>

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Roma, 2017. Retrieved June 16, 2023. Available in: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.

FRANCHINI, J. C. *et al.* **Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 77). Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/CT77VE.pdf>.

FONSECA, L. *et al.* Management targets for maximizing the short-term herbage intake rate of cattle grazing in Sorghum bicolor. **Liv. Sci.** 145, 205–211, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 394–406, jan. 2015.

GILLEN R.L., MCCOBUM F.T., and BRUMMER J.E. (1990) Tiller defoliation patterns under short duration grazing in tallgrass prairie. **Journal of Range Management**, 43, 95–99.

HAO, J., *et al.* (2013) Effects of rotational and continuous grazing on herbage quality, feed intake and performance of sheep on a semi-arid grassland steppe. **Arch. Anim. Nutr.** 67: 62–76.

GOMES, C. *et al.* **Daytime ingestive behaviour of grazing heifers under tropical silvopastoral systems: Responses to shade and grazing management.** v. 240, p. 105360–105360, 1 jul. 2021.

GÓMEZ, S., GUENNI, O., BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. **Grass Forage Sci.** 68, 395–407, 2013. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>.

GORDON, I. J.; ILLIUS, A. W. Foraging strategy: From monoculture to mosaics. In: **Speedy, A.W.**(Ed.). *Progress in sheep and goat research.* Wallingford: CAB International, 1992, p.153-178.

HODGSON, J., COSGROVE, G.P., WOODWARD, S.J.R. Research on foraging behaviour: progress and priorities. In: Buchanan-Smith, J.G., Bailey, L.D., McCaughey, P.(Eds.), *Proceedings of the 18th International Grassland Congress.* Winnipeg, Canada, pp. 109–118, 1997.

KARVATTE, N. *et al.* Spatiotemporal variations on infrared temperature as a thermal comfort indicator for cattle under agroforestry systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102871, 1 abr. 2021.

KUNRATH, T. R. *et al.* Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102716, jan. 2020.

LACA. E.A. ORTEGA, I.M. **Integrating foraging mechanisms across spatial and temporal scales.** In: *International rangeland congresso*, 5, 1995. Salt Lake City, Proceedings... p. 129-132.

LACA E.A. New Approaches and Tools for Grazing Management. **Rangeland Ecol. Manage.** 62: 407–417. 2019.

LEITE DA SILVA, W.A. *et al.*, Shading effect on physiological parameters and in vitro embryo production of tropical adapted Nellore heifers in integrated crop-livestock-forest systems. **Tropical Animal Health Production.** 52, 2273–2281, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02244-3>.

LEMAIRE, G.; HODGSON, J. G.; ABAD CHABBI. **Introduction: food security and environmental impacts - challenge for grassland sciences.** 1 jan. 2011.

LEMAIRE, G., FRANLUEBBERS, A., CARVALHO, P. C. F., DEDIEU, B. Integrated croplivestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, n.4-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRES, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. *et al.* (Ed.) **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 265-288.

LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; SADRAS, V.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2019, 39, 27.

MALAGUEZ, E. G. *et al.* Alternatives for spring forage emptiness in Pampa, Brazil. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 58-64, out./dez. 2017. ISSN 2358-6303.

MEZZALIRA, J.C. *et al.* The Ingestive behaviour of cattle in large-scale and its application to pasture management in heterogeneous pastoral environments. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.2, n.7, p.909-916, 2012.

MEZZALIRA, J C, *et al.* Behavioural Mechanisms of Intake Rate by Heifers Grazing Swards of Contrasting Structures. **Applied Animal Behaviour Science**, vol. 153, 1 Apr. 2014, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.

MORAES, A. *et al.* **Avanços técnico-científicos em SIPA no subtropico brasileiro**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Campus Pato Branco, 2017. p. 102–124. Retrieved June 20, 2023. Available in: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/patobranco/pb-agronomia/documentos/materiais-de-apoio-do-curso/palestras-intensificacao-com-sustentabilidade>

MORAES, A. *et al.* Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **Eur. J. of Agr.** 57(1), 4-9. Doi: 10.1016/j.eja.2013.10.004. 2014.

LACA, E.A.; LEMAIRES, G. Measuring sward structure. In: **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International, 2000. p.103-122

MOOJEN, F. G. *et al.*. Herbage allowance and stocking method effect on grazing systems: Results of a long-term experiment. **Grass and Forage Science**, 23 nov. 2021.

NETO, G. F. S. **Precision bite: monitoring the ingestive behavior and defining a management goal under the concepts of rotatínuous stocking**. Dissertação (mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

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

PARDON, P. *et al.* Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. **Agric. Ecosyst. Environ.** 247, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>. 2017.

PILAU, F.G., ANGELOCCI, L.R.. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. *Bragantia* 74, 476–482, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0130>.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **O componente arbóreo em sistemas integrados de produção agropecuária**. In: SOUZA, E.D. de; SILVA, F.D. da; ASSMANN, T.S.; CARNEIRO, M.A.C.; CARVALHO, P.C. de C.; PAULINO, H.B. *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. Tubarão: Copiart, 2018. 692p.

PORTUGAL, T. B., *et al.* “Methane Emissions and Growth Performance of Beef Cattle Grazing Multi-Species Swards in Different Pesticide-Free Integrated Crop-Livestock Systems in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, vol. 414, 1 Aug. 2023, pp. 137536–137536, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137536>.

PYKE, G. Optimal Foraging Theory: A Critical Review. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 15, n. 1, p. 523–575, 1 jan. 1984.

Fraser, A.F. & Broom, D.M. 1997. *Farm animal behaviour and welfare.*, 3a ed., CAB International, Wallingford, 1997, p. 446.

RIGHI, C.A. *et al.* Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. **Rev. Árvore** 31, 195–207, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200002>.

RABEL, L. A. N. **Características do pasto e padrões de desfolha de *Megathyrsus maximus* cv. áries em sistemas integrados de produção agropecuária**. Dissertação (mestrado em produção vegetal). Universidade Federal do Paraná, 2019.

RIVEST, D., COGLIASTRO, A., BRADLEY, R.L., OLIVIER, A. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. **Agrofor. Syst.** 80, 33–40, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9342-7>.

ROCHA, G. O.; CHIZOTTTI, F. H. M.; SANTOS, M. E. R.; SOUSA, B. M. L.; FONSECA, D. M. Perfilamento do capim-piatã submetido a regimes de desfolhação intermitente [tillering of piatã grass subject intermittent cutting]. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 71 (06), 2019.

RODRIGUES, M.O.D. *et al.* Mombasa grass characterisation at different heights of grazing in an intercropping system with Babassu and monoculture. *Semin. Agrar.* 37, 2085–2098, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p2085>.

SANTIAGO-HERNÁNDEZ, F. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. **Agrofor. Syst.** 90, 339–349, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9858-y>.

SGARBOSSA, J. *et al.* Agroforestry systems and their effects on the dynamics of solar radiation and soybean yield. **Comun. Sci.** 9, 492–502, 2018. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i3.2765>.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; GOMIDE, C.A.M.; NASCIMENTO JR, D.; QUEIROZ, D.S. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou

variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.11, p.2323-2331. 2011.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C.; NASCIMENTO JR, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo. **24º Simpósio sobre Manejo da Pastagem**. FEALQ, Piracicaba, 3-5 de setembro de 2007.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ECHEVERRIA, J. R.; MIQUELOTO, T.; BERNARDON, A.; AMERICO, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. Volumen 25(1-2): 2017.

SEVERO, P. O. **MORFOGÊNESE E DINÂMICA DO PERFILHAMENTO DE TIFTON 85 SOB IRRIGAÇÃO E DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE DESFOLHAÇÃO**. Tese (doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Santa Maria. 2020.

SGARBOSSA, J. *et al.* Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in southern Brazil. **Agricultural Systems**, v. 184, p. 102911, 1 set. 2020.

SOUZA, A.P., *et al.*, 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa* 1, 34–43. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>.

SOUZA, E. C.; SALMAN, A. K. D.; CRUZ, P. G.; CARVALHO, G. A.; SILVA, F. R. F. Ingestive behavior of Girolando heifers in integrated crop, livestock (ICL), and forestry (ICLF) systems. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.73, n.3, p.703-710, 2021

SHI, L., FENG, W., XU, J. & KUZYAKOV, Y. Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. **Land Degrad. Dev.** 29, 3886–3897 (2018).

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. Plant Physiology and Development. In **Journal of Chemical Information and Modeling** (6th ed., p. 761). Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2015.

VARELLA, A. C. *et al.* Manejo de pastagens subtropicais e temperadas para a integração floresta-pecuária. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**, cap. 26. 2019.

VILELA, L. *et al.* Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. de (Ed.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. p.931-962.

ZHANG, W. *et al.* Competitive interaction in jujube tree/cotton agroforestry system in Xinjiang province, northwestern China. **Agrofor. Syst.** 93, 591–605, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0153-y>

5. APÊNDICES

5.1. APÊNDICE 1 - Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista Agroforestry Systems.

Impact factor: 2.2 (2022)

ISSN (printed): 0167-4366. ISSN (electronic): 1572-9680.

Journal Scope: Agricultural and Biological Sciences

Publisher: Springer Netherlands

Instructions for Authors

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Source Files

Please ensure you provide all relevant editable source files at every submission and revision. Failing to submit a complete set of editable source files will result in your article not being considered for review. For your manuscript text please always submit in common word processing formats such as .docx or LaTeX.

Submitting Declarations

Please note that Author Contribution information and Competing Interest information must be provided at submission via the submission interface. Only the information submitted via the interface will be used in the final published version. Please make sure that if you are an editorial board member and also a listed author that you also declare this information in the Competing Interest section of the interface.

Please see the relevant sections in the submission guidelines for further information on these statements as well as possible other mandatory statements.

ORCID ID

This publication requires that the corresponding author provides his/her ORCID ID before proceeding with submission.

Title Page

Please make sure your title page contains the following information.

Title: The title should be concise and informative.

Author information: The name(s) of the author(s); The affiliation(s) of the author(s), i.e. institution, (department), city, (state), country. A clear indication and an active e-mail address of the corresponding author. If available, the 16-digit ORCID of the author(s). If address information is provided with the affiliation(s) it will also be published.

For authors that are (temporarily) unaffiliated we will only capture their city and country of residence, not their e-mail address unless specifically requested.

Large Language Models (LLMs), such as ChatGPT, do not currently satisfy our authorship criteria. Notably an attribution of authorship carries with it accountability for the work, which cannot be effectively applied to LLMs. Use of an LLM should be properly documented in the Methods section (and if a Methods section is not available, in a suitable alternative part) of the manuscript.

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

For life science journals only (when applicable):

- Trial registration number and date of registration for prospectively registered trials
- Trial registration number and date of registration, followed by “retrospectively registered”, for retrospectively registered trials

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Statements and Declarations

The following statements should be included under the heading "Statements and Declarations" for inclusion in the published paper. Please note that submissions that do not include relevant declarations will be returned as incomplete.

- **Competing Interests:** Authors are required to disclose financial or non-financial interests that are directly or indirectly related to the work submitted for publication. Please refer to “Competing Interests and Funding” below for more information on how to complete this section.

Please see the relevant sections in the submission guidelines for further information as well as various examples of wording. Please revise/customize the sample statements according to your own needs.

Word Limit

The total length of Original Articles, including figures, tables and references, should not exceed 10,000 words. The number of figures and tables should not exceed 10 in total.

For Review Papers, the number of words should not exceed 10,000 words, not including the references.

The word limit for Short Communications is 2000 words. The result and discussion sections can be written separately or as a unique section. The number of figures and tables should not exceed 2 in total.

Please indicate at the end of your manuscript the number of words as follows:

Total number of words (including references):

Total number of words (excluding references):

Abstract number of words:

Number of words in Supplementary Information:

Also ensure that your manuscript contains continuous line numbering

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX. We recommend using Springer Nature's LaTeX template.

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

Scientific style

Please always use internationally accepted signs and symbols for units (SI units).

Genus and species names should be in italics.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses.

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Please alphabetize according to the following rules: 1) For one author, by name of author, then chronologically; 2) For two authors, by name of author, then name of coauthor, then chronologically; 3) For more than two authors, by name of first author, then chronologically.

If available, please always include DOIs as full DOI links in your reference list (e.g. “<https://doi.org/abc>”).

Tables

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Artwork and Illustrations Guidelines

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices [Supplementary Information (SI)] should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term **Fig.** in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

Figures should be submitted within the body of the text. Only if the file size of the manuscript causes problems in uploading it, the large figures should be submitted separately from the text.

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For large-sized journals the figures should be 84 mm (for double-column text areas), or 174 mm (for single-column text areas) wide and not higher than 234 mm.

For small-sized journals, the figures should be 119 mm wide and not higher than 195 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that:

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Supplementary Information (SI)

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as Supplementary Information, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

High resolution (streamable quality) videos can be submitted up to a maximum of 25GB; low resolution videos should not be larger than 5GB.

Audio, Video, and Animations

Aspect ratio: 16:9 or 4:3

Maximum file size: 25 GB for high resolution files; 5 GB for low resolution files

Minimum video duration: 1 sec

Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., “... as shown in the animation (Online Resource 3)”, “... additional data are given in Online Resource 4”.

Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Supplementary Information (SI) will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)