

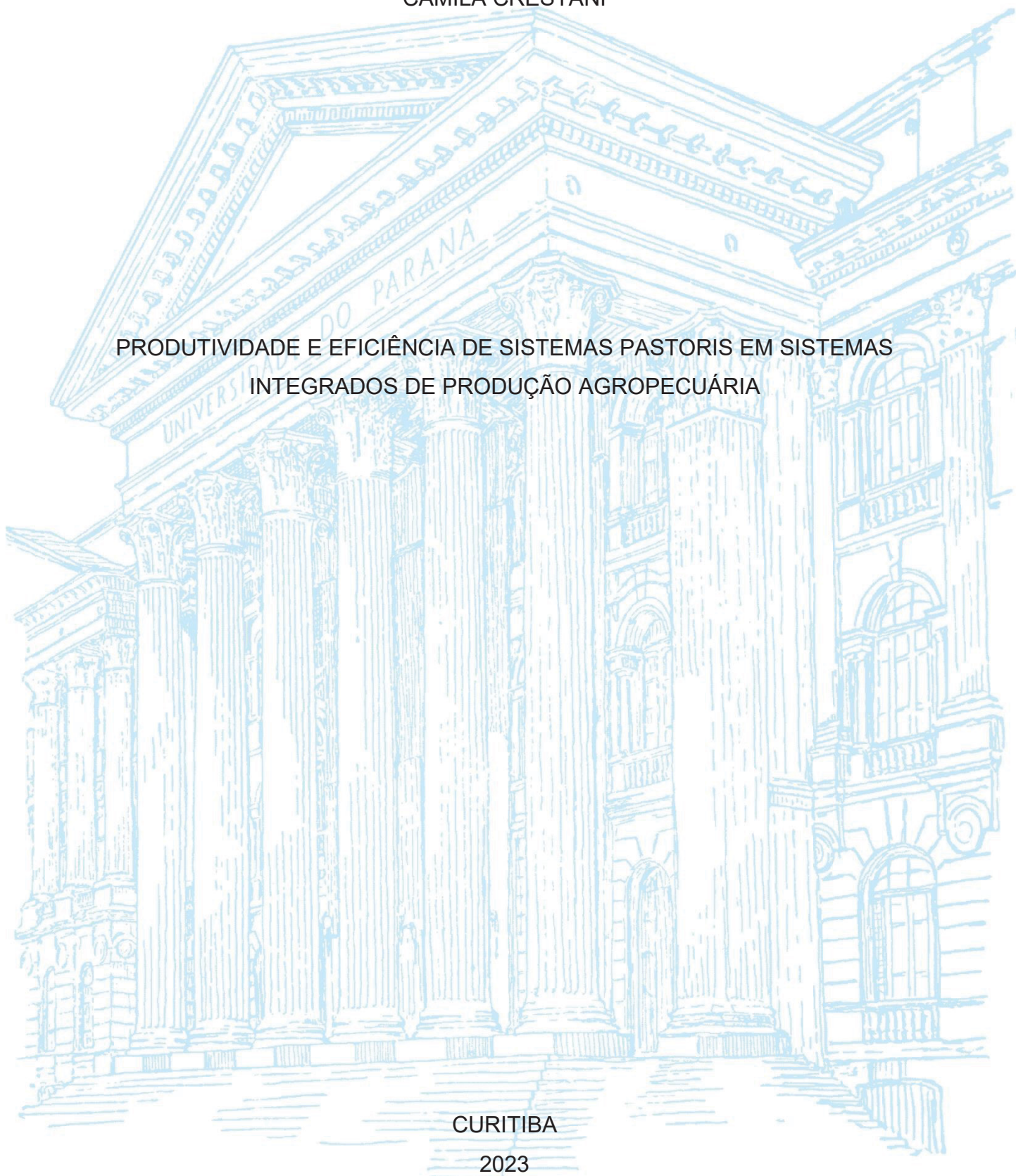
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA CRESTANI

PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS PASTORIS EM SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

CURITIBA

2023



CAMILA CRESTANI

PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS PASTORIS EM SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira

Coorientadores: Prof. Dr. Anibal de Moraes  
Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang

CURITIBA

2023

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

Crestani, Camila

Produtividade e eficiência de sistemas pastoris em sistemas integrados de produção agropecuária. / Camila Crestani. – Curitiba, 2023.

1 recurso online: PDF.

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

Orientador: Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Claudete Reisdorfer Lang.

1. Sistemas Silvipastoris. 2. Sustentabilidade. 3. Pastagens. I. Oliveira, Leandro Bittencourt de. II. Moraes, Anibal de. III. Lang, Claudete Reisdorfer. IV. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação Agronomia (Produção Vegetal). V. Título.

Bibliotecário: Douglas Alex Jankoski CRB-9/1167



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 **CAMILA CRESTANI** intitulada: **PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS PASTORIS 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, 24 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

24/02/2023 12:01:00.0

LEANDRO BITTENCOURT DE OLIVEIRA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/02/2023 13:19:03.0

ANDERSON CESAR RAMOS MARQUES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA)

Assinatura Eletrônica

27/02/2023 08:45:52.0

ANIBAL DE MORAES

Coorientador(a)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: [pgapv@ufpr.br](mailto:pgapv@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 258501

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 258501

A Deus e a minha família.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela vida e proteção.

Aos meus pais e família pela oportunidade que sempre me deram de me dedicar aos estudos.

Ao Felipe Trentini pelo apoio, paciência e colaboração em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Bittencourt de Oliveira, por todos os ensinamentos, confiança depositada e pelo exemplo de excelente profissional.

Ao Prof. Dr. Anibal de Moraes e Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang pelo acolhimento e pela oportunidade de fazer parte do grupo.

A toda equipe do NITA pela colaboração e bons momentos. Pela dedicação de todos na obtenção dos dados desde o início do experimento, o que tornou possível a realização deste trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade, em especial à Maria Emília Kudla que sempre está disposta ajudar os alunos da melhor forma possível.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

O sistema pecuário integrado com árvores e/ou lavouras gera um ambiente complexo e diverso, várias interações entre animais, planta e solo ocorrem. Portanto, estudar os efeitos destas interações torna-se necessário para uma maior compreensão dos elementos que afetam a produção final destes sistemas. Com isso, este trabalho avaliou no capítulo 1 o estabelecimento e desenvolvimento da aveia preta sobressemeada e, as consequências, na produção da pastagem e animal quando integradas árvores em sistemas integrados de produção agropecuária e no capítulo 2 a rentabilidade, eficiência produtiva e produção energética da introdução de lavoura e/ou floresta em um sistema pecuário. Os dois estudos foram realizados em Pinhais – PR, no protocolo de longa duração do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA). No capítulo 1 constatou-se que a umidade do solo e a radiação fotossinteticamente ativa no sistema pecuária-floresta são reduzidas quando comparadas a um sistema pecuário, resultando em decréscimo do estabelecimento da aveia preta, ocasionando menor produção vegetal durante o ciclo de pastejo e conseqüentemente menor produção animal. Já no capítulo 2, ficou evidenciado que a inclusão das árvores e da lavoura em um sistema pecuário aumenta a produtividade total do sistema. A integração somente da lavoura a pecuária, aumenta os parâmetros produtivos e a lucratividade deste sistema, porém, a inserção de lavoura e floresta reduz a produtividade da lavoura e por conseqüência a lucratividade da pecuária.

Palavras-chave: silvipastoril, sustentabilidade, pastagens, produção.

## **ABSTRACT**

The livestock system integrated with trees and/or crops generates a complex and diverse environment, several interactions between animals, plants and soil occur. Therefore, studying the effects of these interactions becomes necessary for a greater understanding of the elements that affect the final production of these systems. With this, this work evaluated in chapter 1 the establishment and development of oats and the consequences on pasture and animal production when trees are integrated into integrated agricultural production systems and in chapter 2 the profitability, productive efficiency and energy production of the introduction of crops and/or forest into a livestock system. The two studies were carried out in Pinhais - PR, in the long-term protocol of the Nucleus of Technological Innovation in Agriculture (NITA). In chapter 1, it was noted that soil moisture and photosynthetically active radiation in the livestock-forest system are reduced when compared to a livestock system, resulting in a decrease in the establishment of black oats, causing lower plant production during the grazing cycle and consequently lower animal production. In chapter 2, it was evidenced that the inclusion of trees and crops in a livestock system increases the total productivity of the system. The integration of crops and livestock only increases the productive parameters and the profitability of this system, however, the insertion of crops and forest reduces crop productivity and, consequently, the profitability of livestock.

Keywords: silvipastoral, sustainability, pastures, production.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	REFERÊNCIAS .....	10
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO I - O SOMBREAMENTO REDUZ O ESTABELECIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA PASTAGEM DE AVEIA PRETA EM SOBRESSEMEADURA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA?</b> .....	<b>12</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	14
2.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	15
2.2.1	Descrição Da Área Experimental .....	15
2.2.2	Tratamentos E Condução Do Experimento .....	16
2.2.3	Estabelecimento E Desenvolvimento Inicial Da Altura Da Aveia Preta	17
2.2.4	Produção Da Pastagem.....	19
2.2.5	Produção Animal .....	20
2.2.6	Análises Estatísticas.....	21
2.3	RESULTADOS .....	22
2.3.1	Estabelecimento e desenvolvimento inicial da aveia .....	22
2.3.2	Condições do solo e ambiente.....	24
2.3.3	Produção de biomassa de forragem e produção animal .....	25
2.4	DISCUSSÃO .....	27
2.4.1	Estabelecimento e desenvolvimento inicial da aveia .....	27
2.4.2	Consequências na produção de forragem e animal .....	28
2.5	CONCLUSÃO.....	30
2.6	REFERÊNCIAS .....	30
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO II - A INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS AUMENTA A EFICIÊNCIA E A RENTABILIDADE DA PRODUÇÃO PECUÁRIA?</b> .....	<b>35</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	37
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3.2.1	Descrição da área e histórico experimental .....	38
3.2.2	Tratamentos e delineamento experimental .....	39
3.2.3	Condução e avaliações da produção animal .....	42
3.2.4	Condução e avaliações da produção de grãos .....	43

3.2.5	Condução e avaliações florestais .....	43
3.2.6	Estimativa da produção de energia e eficiência energética .....	44
3.2.7	Estimativa da produção de proteína digestível humana.....	44
3.2.8	Avaliação da lucratividade .....	45
3.2.9	Análises estatísticas .....	46
3.3	RESULTADOS .....	46
3.3.1	Produtividade dos sistemas pecuária, lavoura e floresta .....	46
3.3.2	Energia, hdp, lucratividade e eficiência energética .....	48
3.4	DISCUSSÃO .....	50
3.4.1	Produtividade dos componentes dos sistemas .....	50
3.4.2	Eficiência energética e lucratividade dos sistemas de produção.....	51
3.5	CONCLUSÃO .....	53
3.6	REFERÊNCIAS .....	53
<b>4</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda populacional somado a produção e distribuição de alimentos tornou-se tema de discussão mundial (Descheemaeker et al., 2016; Kummu et al., 2017; Thornton & Herrero, 2015; Van Dijk et al., 2021). Para tentar atender a demanda por alimentos minimizando os efeitos nocivos dos cultivos agrícolas, surgem inovações tecnológicas agrícolas que visam o aumento da produtividade conciliando com a sustentabilidade (Broom, 2017; Huertas et al., 2021; Pretty 2018).

Neste cenário os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) são uma alternativa de produção, ao oferecerem aumento na produtividade, sem que seja necessário o uso de mais insumos (Carvalho et al., 2021). Os SIPA são responsáveis por gerarem benefícios para o produtor, como a diversificação de renda e ao solo com a redução dos impactos negativos que a agricultura causa, diminuindo a erosão, aumentando a ciclagem de nutrientes e maximizando o uso do solo (Chará et al., 2019; Lemes et al., 2021; Mottet et al., 2017; Peri et al., 2016).

Levando em consideração a complexidades dos SIPA e seus diferentes arranjos, torna-se necessário quantificar a eficiência da produção nesses sistemas. Estudos anteriores demonstraram os benefícios dos SIPA para a sustentabilidade do sistema (Carvalho et al., 2021), para o bem-estar animal (Huertas et al., 2021), para a melhoria na produtividade (Farias et al., 2020), para a maior estabilidade do sistema (Carvalho et al., 2010), para a redução da degradação das pastagens (Kluthcouski e Stone, 2003), para o aumento da fertilidade do solo (Salton et al., 2014) e diversos outros benefícios. Porém, nenhum se aprofundou na relação direta dos efeitos das árvores de grande porte em uma pastagem anual hiberna sobressemeada em um clima subtropical e nem aos efeitos na eficiência e lucratividade da adoção de lavoura e/ou floresta em um sistema pecuário.

Neste contexto, objetivou-se avaliar nesta dissertação o estabelecimento e o desenvolvimento da aveia preta sobressemeada e, as consequências, na produção da pastagem e animal quando integradas árvores em SIPA (Capítulo

1), como também avaliar a rentabilidade e a eficiência da introdução de lavoura e ou floresta no sistema pecuária (Capítulo 2).

## 1.1 REFERÊNCIAS

BROOM, D. M. Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 683-688, 2017.

CARVALHO, Paulo César 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, Paulo César de Faccio et al. Reconnecting nature and agricultural production: mixed cropping systems as a way forward sustainable intensification. **Boletim De Indústria Animal**, v. 78, p. 1-16, 2021.

DESCHEEMAEKER, Katrien et al. Climate change adaptation and mitigation in smallholder crop–livestock systems in sub-Saharan Africa: a call for integrated impact assessments. **Regional Environmental Change**, v. 16, p. 2331-2343, 2016.

FARIAS, Gustavo Duarte et al. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, p. 1-9, 2020.

HUERTAS, Stella Maris et al. Benefits of silvopastoral systems for keeping beef cattle. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 992, 2021.

KLUTHCOUSKI, João; STONE, Luís Fernando. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 499-522, 2003.

SALTON, Julio C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

KUMMU, Matti et al. Bringing it all together: linking measures to secure nations' food supply. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 29, p. 98-117, 2017.

PRETTY, Jules. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: **Biological Sciences***, v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2008.

THORNTON, Philip K.; HERRERO, Mario. Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. ***Nature Climate Change***, v. 5, n. 9, p. 830-836, 2015.

VAN DIJK, Michiel et al. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. ***Nature Food***, v. 2, n. 7, p. 494-501, 2021.

## 2 CAPÍTULO I - O SOMBREAMENTO REDUZ O ESTABELECIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA PASTAGEM DE AVEIA PRETA EM SOBRESSEMEADURA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA?

### RESUMO

A intensificação sustentável da pecuária a pasto por meio da integração com árvores surge como alternativa para recuperar as pastagens e garantir a segurança alimentar humana na produção de proteína animal. Nosso objetivo foi avaliar o estabelecimento e desenvolvimento aveia preta sobressemeada e, as consequências, na produção da pastagem e animal quando integradas com árvores. O estudo foi conduzido em Pinhais – PR em um experimento de longa duração, nos anos de 2021 e 2022, sendo avaliado o estabelecimento e desenvolvimento da aveia preta (*Avena strigosa*), a produção da pastagem e animal em dois sistemas, um sistema de pecuária com a pastagem a pleno sol (PEC) e outro com a presença do componente arbóreo (*Eucalyptus benthamii*) (PF). Ambos os sistemas possuem pastagem perene de áries (*Megathyrsus maximus*) no verão e aveia preta sobressemeada no inverno, no PF os eucaliptos estão dispostos em linhas simples com espaçamento de 28 m entre linhas e 11 m entre árvores, a altura das árvores no momento das avaliações era de aproximadamente 25 m. O estabelecimento da aveia preta foi 23% maior no PEC em relação ao PF. A pastagem de aveia preta teve uma velocidade de desenvolvimento maior no PEC cerca de 0.41 cm dia<sup>-1</sup> enquanto no PF foi de 0.34 cm dia<sup>-1</sup>. A produção da pastagem foi 38% menor no PF em relação ao PEC, assim como a produção animal que foi 1.2 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> menor no PF. Portanto, o estabelecimento e desenvolvimento inicial da aveia preta é reduzido quando há integração de árvores com pastagem, ocasionando em redução da produção da pastagem e por consequência da produção animal.

Palavras-chaves: Gramíneas hibernais; Sustentabilidade; Produção; Sistemas de produção.

## ABSTRACT

The sustainable intensification of livestock grazing through integration with trees emerges as an alternative to recover pastures and ensure human food security in the production of animal protein. Our objective was to evaluate the establishment and development of oat black oats and the consequences on pasture and animal production when integrated with trees. The study was conducted in Pinhais - PR in a long-term experiment, in the years 2021 and 2022, evaluating the establishment and development of black oats (*Avena strigosa*), pasture and animal production in two systems, a livestock system with pasture under full sun (L) and another with the presence of the tree component (*Eucalyptus benthamii*) (LF). Both systems have perennial pasture of aries (*Megathyrus maximus*) in the summer and black oats sowed in the winter, in the PF the eucalyptus trees are arranged in simple rows with spacing of 28 m between rows and 11 m between trees, the height of the trees at the time of ratings was approximately 25 m. Black oat establishment was 23% higher in L compared to LF. The black oat pasture had a higher development speed in the L around 0.41 cm day<sup>-1</sup> while in the LF it was 0.34 cm day<sup>-1</sup>. Pasture production was 38% lower in PF compared to L, as well as animal production, which was 1.2 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> lower in LF. Therefore, the establishment and initial development of black oats is reduced when there is integration of trees with pasture, causing a reduction in pasture production and, consequently, in animal production.

**Keywords:** Winter grasses; Sustainability; Production; Production systems.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Alimentos de origem animal contribuem com 18% do consumo global de calorias e 25% do consumo global de proteínas (FAOSTAT, 2016). Na produção de carne, as pastagens têm uma contribuição dominante para o uso da terra em muitas partes do mundo, incluindo no Brasil (Pontes et al., 2021). O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne bovina (ABIEC, 2022) utilizando sistemas predominantemente a pasto (157 milhões de hectares, ABIEC, 2022), com forrageiras tropicais. Porém, no sul do Brasil com clima subtropical estas forrageiras têm bom desenvolvimento somente no período estival, apresentando desenvolvimento restrito ou nulo no período hibernar. Sendo uma prática comum fazer a sobressemeadura de pastagens hibernais nessas pastagens tropicais a fim de preencher esse vazio forrageiro.

Dentre as espécies hibernais a aveia preta (*Avena strigosa*) se destaca com a segunda safra de inverno mais importante, apresentando um aumento de 14% na área cultivada das safras de 2016 para 2017 (Sgarbossa et al., 2020), devido a possibilidade de cultivo para utilização de pastejo animal (Kirchner et al., 2010). Nas últimas décadas houve uma crescente adoção de sistemas que integram pastagem e árvores buscando uma intensificação sustentável da produção de carne bovina, associando árvores, pastagens e animais (Paciullo et al., 2017). Estes sistemas ocupam cerca de 17.5 milhões de hectares (Polidoro et al. 2020), o *Eucalyptus* spp. é a cultura arbórea mais utilizada, principalmente devido a sua alta taxa de crescimento e qualidade da madeira (Balbino et al., 2011). Porém, informações da pesquisa referentes ao impacto do cultivo de aveia preta sombreada nesse sistema são escassas.

Sabe-se que alguns fatores, como a competição por luz, água e nutrientes, podem interferir no estabelecimento da pastagem (Oliveira et al., 2022). Sendo que o pasto quando conduzido em ambiente sombreado pode apresentar alterações na morfologia, como o aumento nas proporções das folhas para interceptar maiores quantidades de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (Schmidt et al., 2017), no crescimento, na eficiência do uso da radiação (Sgarbossa et al., 2020), reduzindo progressivamente a PAR (Paciullo et al., 2021) e, conseqüentemente, a produtividade.

Neste estudo avaliamos o estabelecimento e desenvolvimento da aveia preta sobressemeada em condição de pleno sol e no sub-bosque de um sistema

silvipastoril, bem como sua produção total de biomassa e ganho de peso animal em pastejo, caracterizando a radiação e condições físicas do solo nas duas situações. Assim, a hipótese é de que a integração de árvores em uma pastagem de aveia preta sobressemeada em áreas reduz seu estabelecimento e sua velocidade de desenvolvimento, ocasionando diminuição na produção da pastagem refletindo em menor produção animal em relação as condições de pleno sol. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o estabelecimento e desenvolvimento da aveia preta sobressemeada e, as consequências, na produção da pastagem e animal quando integradas árvores em SIPA.

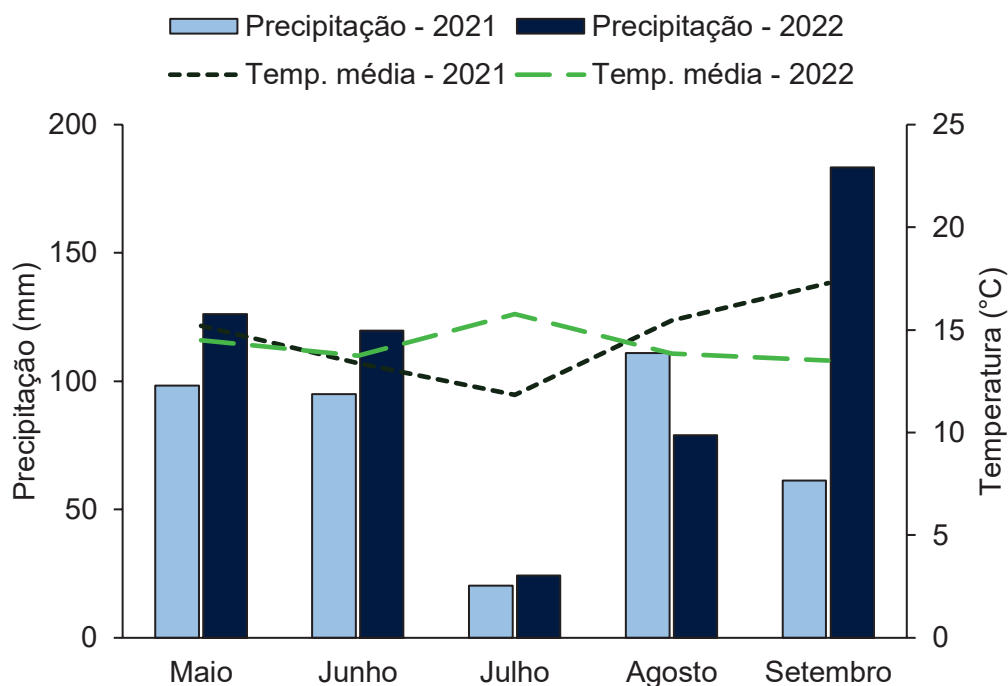
## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Descrição da área experimental**

O experimento foi conduzido por dois anos, os dados foram coletados de 13/05/2021 a 24/09/2021 e de 25/04/2022 a 21/09/2022 em um protocolo experimental de longa duração instalado em 2013, na Estação Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, em Pinhais, estado do Paraná. As coordenadas geográficas são 25°23'30" S de latitude e 49°07'30" W de longitude. A área está localizada dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí (Decreto n° 2200), portanto, não foi utilizado nenhum tipo de agrotóxico.

O clima da região, segundo Koppen, é classificado como Cfb e caracteriza-se por apresentar precipitação média anual de 1400 mm, temperatura mínima média de 12,5°C e temperatura máxima média de 22,5°C, estando sujeito a geadas frequentes e severas. De acordo com a classificação de solos WRB/FAO, a área experimental possui Cambissolos, Ferralssolos e associação de ambos os grupos, com pequenas porções de Gleissolos (Dominschek, 2021). A textura do solo é argilosa com 519 g kg<sup>-1</sup> de argila, 112 g kg<sup>-1</sup> de silte e 369 g kg<sup>-1</sup> de areia (Cavaliere, et al., 2022).

Figura 1 – Temperatura média e precipitação acumulada mensal de Pinhais – PR, dados obtidos da estação meteorológica SIMEPAR Pinhais - PR nos anos de 2021 e 2022.

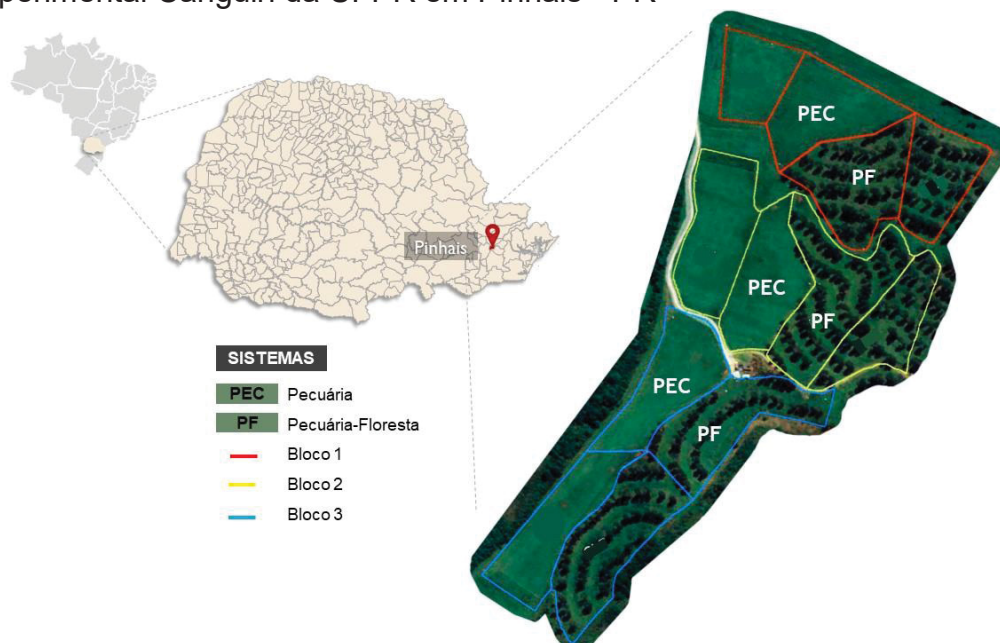


### 2.2.2 Tratamentos e condução do experimento

Os tratamentos foram constituídos de dois sistemas de produção, pecuária (PEC) e pecuária-floresta (PF), instalados em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, sendo cada unidade amostral de aproximadamente 1,6 hectares (Figura 1). Os sistemas foram compostos pela pastagem perene de capim áries (*Megathyrus maximus*) na primavera-verão pela pastagem anual de aveia preta no outono-inverno. O sistema PEC é composto por pastagem solteira, enquanto o PF possui a pastagem integrada com eucaliptos (*Eucalyptus benthami*), plantados em linhas simples com espaçamento médio de 11 m entre árvores e 28 m entre linhas.

O capim áries e o eucalipto foram implantados em 2013. O plantio do eucalipto ocorreu em arranjo espacial de linhas simples com espaçamento de 14 m entre linhas e 2 m nas linhas, com densidade inicial de aproximadamente 357 árvores ha<sup>-1</sup>, nos sistemas de integração com floresta. O manejo florestal ocorreu conforme descrito por Kruchelski et al. (2021) e nos anos de condução do experimento 2021 e 2022 a densidade de árvores era de aproximadamente 26 árvores ha<sup>-1</sup>.

Figura 2 - Localização do protocolo experimental na área da fazenda experimental Canguiri da UFPR em Pinhais - PR



### 2.2.3 Estabelecimento e desenvolvimento inicial da altura da aveia preta

No ano de 2021, a sobressemeadura da aveia preta cultivar EMBRAPA 139 sob a pastagem de áries foi realizada no dia 15/05, na densidade de 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Em 2022, a sobressemeadura foi realizada em 01/05, na densidade de 90 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Em ambos os anos a semeadura foi realizada com semeadora mecanizada com espaçamento entre linhas de 17 cm e a pastagem hiberna foi adubada com 200 kg ha<sup>-1</sup> de ureia no perfilhamento da aveia. Os atributos químicos do solo em 2021 foram semelhantes entre os sistemas PEC e PF (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos químicos do solo no sistema pecuária e pecuária floresta em 2021 antes do início das avaliações do experimento.

Sistemas	pH <sub>CaCl</sub> <sup>2</sup>	Al <sup>+3</sup> <sup>*</sup>	H+A <sup>1</sup>	Ca <sup>+2</sup> <sup>*</sup>	Mg <sup>+2</sup> <sup>*</sup>	K <sup>+†</sup>	P <sup>†</sup>	SB <sup>‡</sup>	CTC <sup>§</sup>	V <sup>∞</sup>	C <sup>α</sup>
		----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----					mg/dm <sub>3</sub>			%	g/dm <sub>3</sub>
PEC	5.1	0	3.8	4.6	2.8	0.5	5.7	7.9	11.7	68	27.7
PF	5.1	0	3.9	4.7	2.7	0.3	10.4	7.6	11.4	67	27.8
Valor de referência <sup>β</sup>	5.0	-	-	2.1	1.1	0.2 2	10	-	15	65	15
Interpretação <sup>β</sup>	Alto			Alto	Alto	Alto	Alto		Alto	Alto	Alto

\* Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> permutáveis extraídos por 1.0 mol KCl L<sup>-1</sup> (1:10, v/v).

† P e K disponíveis extraídos por Mehlich<sup>-1</sup>.

‡ SB, Soma de bases = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>

§ CTC, Capacidade de troca catiônica em pH 7,0 calculada pela combinação de H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>.

∞ V, Saturação de base = (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>) / (CTC<sub>pH7</sub>) × 100, e

α C, carbono orgânico total (analisado por combustão seca).

β Pauletti & Motta, 2019.

O desenvolvimento inicial da pastagem foi avaliado nos anos de 2021 e 2022 pela contagem e medição da altura das plantas de aveia preta da emergência até a entrada dos animais. Os fatores que influenciam no estabelecimento e desenvolvimento da pastagem de aveia preta avaliados 2022 foram biomassa residual sob o solo (BRS), profundidade de semeadura, umidade (U), temperatura e densidade do solo (Ds) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR), o número de sementes depositadas (N° sementes) foi avaliado em 2021 e 2022.

Para essas avaliações foram alocadas três parcelas fixas de um metro quadrado em cada unidade experimental (EU). As variáveis foram medidas em três linhas de semeadura de um metro, totalizando 9 metros lineares avaliados por UE. No sistema PF, as parcelas foram alocadas a uma distância de seis metros da linha de árvores, na área de projeção da sombra.

A biomassa residual acima do solo foi coletada no dia da semeadura da aveia preta em área próxima às parcelas. Foi coletado todo material vegetal acima do solo de três quadros de 0,25 m<sup>2</sup> por UE, o material cortado foi levado a estufa de circulação de ar forçada e seco até peso constante a 70 °C. Após a pesagem o resultado foi utilizado para estimar a BRS.

O número e a profundidade de sementes depositadas foram avaliados em cada parcela em três linhas de um metro pela remoção do solo na linha de

semeadura. E em seguida, foi realizada a contagem das sementes e com auxílio de uma régua graduada, medida a profundidade. Na sequência da linha, a emergência de plântulas foi avaliada pela contagem diária de plantas de aveia preta. Após emergência, o estabelecimento da pastagem foi avaliado pela medida de desenvolvimento da altura a cada três dias, com o auxílio de uma régua graduada “sward stick” eram medidas todas as plantas de aveia preta contidas nas três linhas de um metro linear em cada parcela até a altura de entrada dos animais (26 cm).

A temperatura do solo foi medida com Data Loggers (TagTemp, NOVUS) instalados em uma parcela de cada UE. A temperatura foi tomada a cada hora do dia da semeadura até a entrada dos animais. A umidade do solo foi estimada pelo método da estufa padrão, coletando-se solo com auxílio de um trado calador em dois pontos próximos a cada parcela, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. O solo foi coletado na semeadura, três dias após a semeadura, na emergência, três dias após a emergência e, posteriormente, foram realizadas avaliações semanais. As amostras de solo foram pesadas úmidas ( $\mu$ ) e levadas a estufa de circulação de ar forçada a 105 °C até massa constante, em seguida foram pesadas novamente ( $m_s$ ). A umidade gravimétrica do solo foi estimada pela Equação 1:

$$U(\%) = \left( \frac{\mu - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

A densidade do solo foi estimada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). Duas amostras indeformadas foram coletadas próximas cada parcela antes da entrada dos animais nos sistemas. O solo coletado foi levado a estufa de circulação de ar forçada a 105°C até massa constante ( $m_{si}$ ). A densidade do solo foi estimada pela Equação 2:

$$D_s = \frac{m_{si}}{V} \quad \text{Equação 2}$$

A PAR foi medida semanalmente em dois pontos por parcela, em dois períodos do dia (manhã e tarde), com auxílio de um aceptômetro digital (LP-80, ACCUPAR).

#### **2.2.4 Produção da pastagem**

Para a avaliação da altura da pastagem a cada 15 dias foram aferidos 150 pontos de altura por UE com a utilização de um bastão graduado (“sward stick”).

As medições foram realizadas em um caminhamento previamente estabelecido, identificando a classificação das plantas conforme as espécies presentes.

A massa de forragem (MF) foi estimada a cada 28 dias por três cortes de um quadro com área de 0,25m<sup>2</sup> rentes ao solo de toda biomassa vegetal em locais representativas do piquete. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até peso constante, pesadas e estimada a MF em kg ha<sup>-1</sup>.

A taxa de acúmulo de forragem (TAF) foi determinada pela técnica do triplo emparelhamento (Moraes et al., 1990). Foram alocadas três gaiolas de exclusão do pastejo por piquete, com dimensões de 70 × 70 × 100 cm. A cada 28 dias foram realizados cortes da biomassa rente ao solo de dentro e fora da gaiola, com auxílio de um quadro com área de 0,25m<sup>2</sup>. Em seguida as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até peso constante, pesadas e estimada a TAF do período em kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. As gaiolas foram então realocadas em novos pontos representativos da MF. No PF, as gaiolas de exclusão foram alocadas em três faixas entre os renques de árvores a uma distância média de seis metros das linhas de árvores. A produção total de forragem (PTF) foi calculada pela multiplicação da TAF pelo número de dias de cada período e somado a MF no início do ciclo de pastejo (kg ha<sup>-1</sup> de MS).

### **2.2.5 Produção animal**

Nos dois anos de avaliações, foram utilizados bovinos machos cruza Angus que no início do experimento apresentavam média de 7 a 10 meses de idade e 170 kg e 142 kg de peso vivo no ano de 2021 e 2022, respectivamente. O método de pastoreio utilizado foi contínuo com taxa de lotação variável, segundo a técnica put-and-take descrita por Mott & Lucas (1952), permanecendo na área três animais testers e número variável de animais reguladores por piquete. O critério de manejo adotado foi baseado no pastoreio rotatínuo (Carvalho et al., 2016), que visa propiciar uma altura média do pasto que maximiza a taxa de ingestão de forragem. A meta de manutenção da altura média da pastagem de aveia preta foi de 24 cm de acordo com resultados de Mezzalira et al. (2014) Os animais entraram na área dia 16/07 e 08/07 em 2021 e 2022 respectivamente, quando a aveia preta estava com 26 cm, e

permaneceram na área até o final do ciclo da cultura em 24/09/2021 e 21/09/2022, fechando um ciclo hibernar de aproximadamente 73 dias.

A cada 28 dias, foi realizada a pesagem dos animais em jejum de sólidos e líquidos por 12 horas, para obtenção do ganho médio diário (GMD). O GMD foi calculado pela diferença no peso inicial e final do animal e dividido pelo número de dias de cada período. A taxa de lotação (TL) foi estimada pela adição do peso vivo dos animais testes com o peso vivo dos animais reguladores nos dias que permaneceram no experimento. Já o ganho de peso por área (GP) foi calculado pela multiplicação do GMD dos animais testes pela taxa de lotação, dividido pelo peso corporal médio dos animais testes.

O manejo sanitário dos animais foi realizado de maneira seletiva para endo e ectoparasitas, medicando apenas os animais que atingissem determinada incidência parasitária, conforme proposto por Molento (2013). Os animais tiveram acesso ad libitum a água e sal mineral. Todos os procedimentos envolvendo animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (014/2021).

### 2.2.6 Análises estatísticas

A variáveis nº sementes, nº plantas, % plantas, altura de entrada, altura durante o ciclo de pastejo, MF, densidade da forragem, TAF, PTF, TL, OF, OFF, GMD e GP foram analisadas seguindo um modelo bifatorial, sistema × ano (Equação 3). Já as variáveis profundidade de semeadura, Ds, U, PAR, MRS e temperatura do solo foram analisadas seguindo um DBC (Equação 4). O desenvolvimento da altura da aveia foi testado por um triplo fatorial, considerando os efeitos de sistemas, anos e dias após o plantio (Equação 5). As pressuposições de normalidade foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ( $p < 0,05$ ) no software R 4.2.0. Os resultados das variáveis foram submetidos à análise de variância, pelo modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + S_{ik} + Y_j + (SY)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Equação 3}$$

$Y_{ijk}$  = é o valor observado na parcela experimental;  $\mu$  = média geral do experimento;  $S_i$  = efeito do fator sistema (S);  $S_{ik}$  = efeito do fator S no bloco (k);  $Y_j$  = efeito do fator ano;  $(SY)_{ij}$  = efeito da interação entre o fator S e o fator Y e

$\varepsilon_{ijk}$  = erro experimental. Quando significativo o efeito dos fatores as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,050$ ).

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + S_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Equação 4}$$

$Y_{ijk}$  = é o valor observado na parcela experimental;  $\mu$  = média geral do experimento;  $S_i$  = efeito do fator sistema (S);  $S_{ik}$  = efeito do fator S no bloco (k) e  $\varepsilon_{ijk}$  = erro experimental. Quando significativo o efeito dos fatores as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,050$ ).

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + S_{ik} + Y_j + Y_z + (SY)_{ij} + (SY)_{iz} + (YY)_{jz} + (SY)_{ijz} + \varepsilon_{ijkz}$$

Equação 5

$Y_{ijk}$  = é o valor observado na parcela experimental;  $\mu$  = média geral do experimento;  $S_i$  = efeito do fator sistema (S);  $S_{ik}$  = efeito do fator S no bloco (k);  $Y_j$  = efeito do fator ano;  $Y_z$  = efeito do fator dias após o plantio;  $(SY)_{ij}$  = efeito da interação entre o fator  $S_i$  e o fator  $Y_j$ ;  $(SY)_{iz}$  = efeito da interação entre o fator  $S_i$  e o fator  $Y_z$ ;  $(YY)_{ij}$  = efeito da interação entre o fator  $Y_j$  e o fator  $Y_z$  e  $\varepsilon_{ijkz}$  = erro experimental. Quando significativo o efeito dos fatores as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,050$ ).

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Estabelecimento e desenvolvimento inicial da aveia

Na média dos anos avaliados, o número de sementes foi  $270 \text{ m}^{-2}$  similar entre o PEC e o PF ( $p = 0.323$ ; Tabela 2). O número de plantas estabelecidas e porcentagem de plantas estabelecidas foram 23 e 29 % maiores no PEC em relação ao PF. A altura da pastagem aos 56 dias da semeadura, momento da entrada dos animais foi 4 cm maior no PEC quando comparado ao PF ( $p = 0.001$ ).

Na média dos sistemas, o número de sementes foi 39% maior no ano de 2022 em relação a 2021 (Tabela 2). O número de plantas estabelecidas foi similar entre os anos avaliados, porém a porcentagem de plantas estabelecidas foi maior em 2021 em relação a 2022. Em 2022, a altura pastagem aos 56 dias da semeadura foi 2 cm maior do que em 2021 (Tabela 2).

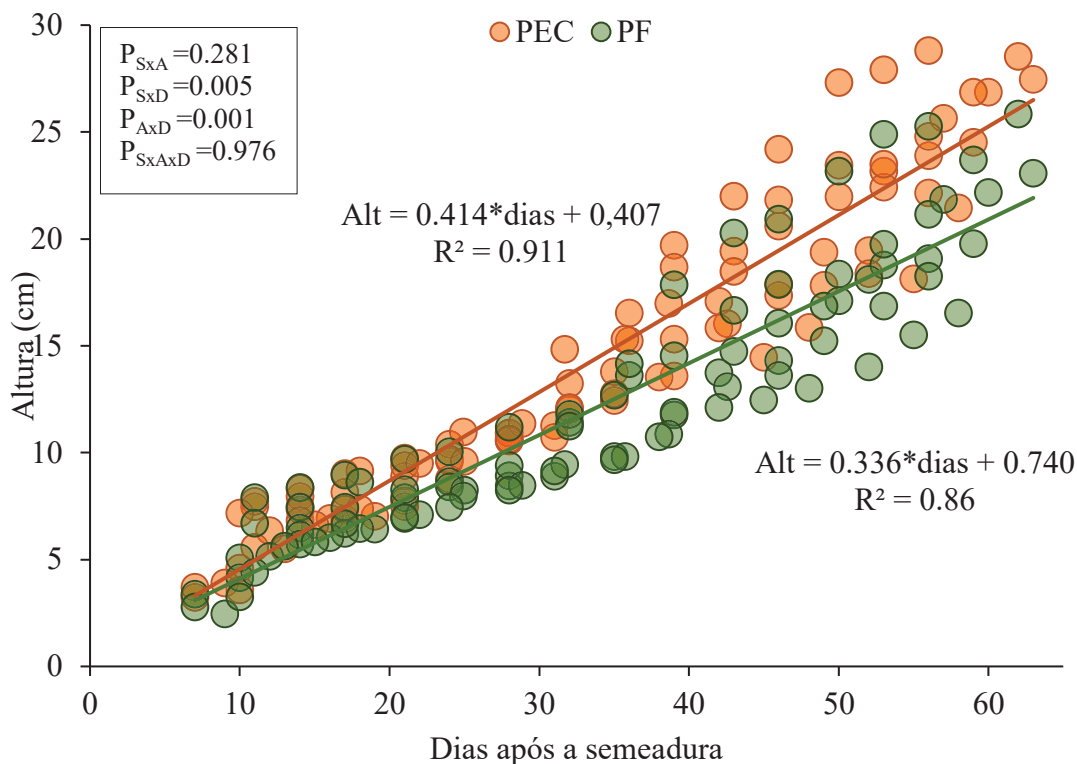
Tabela 2. Número de sementes (Nº sementes), Número de plantas estabelecidas (Nº Plantas estabelecidas), Porcentagem de plantas estabelecidas (Plantas estabelecidas) e Altura da aveia preta aos 56 dias do plantio nos sistemas PEC e PF.

	Nº Sementes	Nº Plantas estabelecidas ----- m <sup>-2</sup> -----	Planta estabelecidas %	Altura aos 56 dias cm
Sistema				
PEC	266 ns	229 a	94 a	26 a
PF	274	177 b	73 b	22 b
Ano				
2021	204 b	189 ns	101 a	23 b
2022	336 a	219	66 b	25 a
CV (%)	16.1	24.8	9.1	17.3
		<i>P valor</i>		
<i>Sistema (S)</i>	<i>0.323</i>	<i>0.002</i>	<i>0.018</i>	<i>0.001</i>
<i>Ano (A)</i>	<i>0.001</i>	<i>0.053</i>	<i>0.003</i>	<i>0.045</i>
<i>S×A</i>	<i>0.401</i>	<i>0.590</i>	<i>0.527</i>	<i>0.276</i>

Letras minúsculas diferentes representam diferença entre cada sistema ou ano ( $p < 0,05$ ), ns = não significativo, pelo teste de Tukey.

Para a variável de desenvolvimento da altura da aveia preta houve interação entre sistemas e dias após o plantio ( $p_{S \times D} = 0.005$ , Figura 3), como também para ano e dias após o plantio ( $p_{A \times D} = 0.005$ , Figura 3). Porém, não houve interação entre sistemas e ano demonstrando que independente do ano de avaliação a altura de desenvolvimento da aveia foi maior no PEC em relação ao PF ( $p_{S \times A} = 0.281$ ; Figura 3).

Figura 3. Desenvolvimento da altura da aveia preta em função dos dias após a semeadura nos sistemas PEC e PF.



### 2.3.2 Condições do solo e ambiente

A profundidade de semeadura foi de 2,1 cm similar entre os sistemas ( $p = 0.352$ ; Tabela 3). A densidade do solo na camada de 0 a 10 e de 10 a 20 cm foi de 1.07 e 1.13  $\text{g cm}^{-3}$ , respectivamente, similar entre os sistemas ( $p = 0.582$  e  $p = 0.676$ ; Tabela 3). A umidade gravimétrica do solo foi 5.2 e 3.4% menor no PF nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente, em comparação ao PEC ( $p = 0.001$  e  $p = 0.001$ ; Tabela 3).

O PAR foi 50% e 23% menor no PF de manhã e à tarde, respectivamente em relação ao PEC ( $p = 0.001$  e  $p = 0.019$ ; Tabela 3). A biomassa residual sob o solo no momento da semeadura foi em média 2780  $\text{kg ha}^{-1}$  similar entre PEC e o PF ( $p = 0.677$ ; Tabela 3). A temperatura do solo foi de 14.5, 17.6 e 14.8  $^{\circ}\text{C}$  pela manhã, tarde e noite, respectivamente e similar entre PEC e PF (Tabela 3).

Tabela 3. Profundidade de sementeira (profundidade), densidade do solo (densidade), umidade gravimétrica do solo (umidade), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), biomassa residual sob o solo no momento da sementeira (BRS) e temperatura do solo nos sistemas PEC e PF.

		Sistemas		CV (%)	P valor
		PEC	PF		
Profundidade (cm)		2.2	1.9	30.2	0.352
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0 – 10 cm	1.06	1.08	7.3	0.582
	10 – 20 cm	1.12	1.14	7.2	0.676
Umidade (%)	0 – 10 cm	35.4	30.2	15.3	0.001
	10 – 20 cm	32.0	28.6	9.9	0.001
PAR (W m <sup>-2</sup> )	Manhã	1114	559	21.9	0.001
	Tarde	676	523	20.4	0.019
BRS (kg ha <sup>-1</sup> )		2816	2745	12.8	0.677
	Manhã	14.9	14.1	2.7	0.058
Temperatura do solo (°C)	Tarde	18.2	16.9	10.4	0.434
	Noite	15.0	14.5	4.9	0.451

### 2.3.3 Produção de biomassa de forragem e produção animal

Na média dos dois anos avaliados, a altura média da aveia preta durante o período de pastejo foi 3 cm maior no PEC em relação ao PF ( $p = 0.045$ ; Tabela 4). A MF foi 743 kg ha<sup>-1</sup> maior no PEC quando comparada ao PF ( $p = 0.047$ ; Tabela 4). A densidade da forragem foi 36% maior no PEC em relação ao PF ( $p = 0.149$ ; Tabela 4). A TAF e, a consequente PTF, foram 41 e 39 % maior no PEC do que no PF (Tabela 4).

A TL foi 47% maior no PEC em relação ao PF ( $p = 0.001$ , Tabela 4). As ofertas de forragem e de folhas foram de 23,5 e 8,5 % similar no PEC e no PF (Tabela 4). O GMD foi de 0,969 kg an<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> similar entre os sistemas ( $p = 0.642$ ; Tabela 4). Na média dos anos avaliados, o GP foi 44% maior no PEC em relação ao PF ( $p = 0.003$ ; Tabela 4).

Tabela 4. Altura da aveia preta, Massa de forragem (MF), Densidade de forragem (densidade), Taxa de acúmulo de forragem (TAF), Produção total de forragem (PTF), Taxa de lotação (TL), Oferta de forragem (OF), Oferta de folha (OFF), Ganho médio diário (GMD) e Ganho de peso (GP).

Sistema	Altura cm	MF kg ha <sup>-1</sup>	Densidade kg cm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	TAF kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	PTF kg ha <sup>-1</sup>	TL kg ha <sup>-1</sup>	OF ----- % -----	OFF -----	GMD kg an <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	GP kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
PEC	24a	1837a	66a	64a	6280a	659a	22ns	8ns	0.952ns	2.7a
PF	21b	1094b	42b	38b	3836b	357b	25	9	0.985	1.5b
Ano										
2021	22ns	1348ns	58ns	46ns	4331ns	511ns	23ns	10a	1.178a	2.4ns
2022	23	1583	50	56	5784	506	24	6b	0.759b	1.8
CV (%)	23.6	35.2	30.9	35.2	31.0	24.2	26.4	24.0	27.9	20.4
P valor										
Sistema (S)	0.045	0.047	0.043	0.046	0.036	0.001	0.365	0.203	0.642	0.003
Ano (A)	0.541	0.460	0.434	0.348	0.160	0.884	0.731	0.011	0.001	0.087
S×P	0.327	0.279	0.226	0.483	0.378	0.828	0.465	0.137	0.538	0.470

Letras minúsculas diferentes representam diferença entre cada sistema ou ano (p < 0,05), ns = não significativo, pelo teste de Tukey.

## **2.4 DISCUSSÃO**

Este estudo demonstrou que a presença de renques de eucalipto de grande porte em uma pastagem de aveia preta, em um clima subtropical reduziu significativamente a radiação e a umidade do solo no sub-bosque, o que afetou negativamente o estabelecimento e desenvolvimento da aveia preta, resultando em menor produção vegetal e conseqüentemente produção de carne por hectare.

### **2.4.1 Estabelecimento e desenvolvimento inicial da aveia**

O número de sementes (270 m<sup>-2</sup>) e a profundidade de semeadura (2.1 cm) similares entre o PEC e o PF, garantiram que havia condições para as avaliações de estabelecimento de aveia preta. Logo, os resultados do presente estudo demonstraram que o número de plantas estabelecidas foi 29 % menor no PF em relação ao PEC (Tabela 2). Isso demonstra, que a integração da pecuária com a produção florestal com árvores de grande porte (cerca de 26 m de altura) reduz o estabelecimento da pastagem anual hibernal em sobressemeadura. Levando em consideração que os principais fatores que afetam o estabelecimento de uma pastagem são, teor de umidade do solo, disponibilidade de nutrientes, luminosidade e manejo inicial (Nabinger, 2006), atribua-se o menor estabelecimento no PF a menor umidade e luminosidade do solo neste sistema (Tabela 3).

Estudos demonstraram que o microclima dentro de um sistema PF é muito dinâmico, incluindo flutuações na PAR, na temperatura e umidade do solo, devido ao posicionamento do sol, às variações climáticas locais e a competição entre as plantas (Pezzopane et al., 2015). Assim como no presente estudo, vários autores relataram menor umidade do solo (Tabela 3) em sistemas sombreados (Glatzle et al., 2021; Prasad et al., 2010; Sarto et al., 2022; Wang et al., 2015), devido ao sistema radicular da árvore absorver a água que chega à superfície do solo dentro do raio de sua zona radicular (Bosi et al. 2020). O teor de água no solo é menor em sistemas de pastagens com a integração de eucaliptos do que em pastagens de monocultivo ao longo do ano (Sarto et al., 2022), resultado de uma maior absorção de água pelas árvores devido à alta concentração de raízes finas dos eucaliptos em profundidades de até 40 cm (Glatzle et al., 2021; Prasad et al., 2010).

O fato de que em sistemas de pastagens com árvores ocorre a redução da PAR com efeitos negativos tanto na quantidade quanto na qualidade da luz como a relação vermelho/vermelho distante, recebida no dossel da pastagem são amplamente conhecidos (Feldhake, 2001; Glatzle et al., 2021; Rodrigues et al., 2014). Neste estudo as árvores no sistema PF reduziram a quantidade de PAR recebida pela pastagem, a redução relativa da PAR depende principalmente da altura das árvores (Glatzle et al., 2021), que foi de cerca de 25 m no período avaliado, o que resultou a uma redução média de 50% da PAR no PF pela manhã e 23% no período da tarde (Tabela 3).

Além disso, o desenvolvimento inicial (até os 56 dias após a semeadura) da aveia preta foi em média de 0.078 cm dia<sup>-1</sup> menor no PF em relação ao PEC (Figura 3), o que acarreta um prolongamento do período necessário para o estabelecimento das pastagens anuais quando integradas com a produção arbórea. Isso pode diminuir o número de dias de utilização das pastagens anuais de invernos em sistemas comerciais, o que não foi o caso do presente experimento.

#### **2.4.2 Consequências na produção de forragem e animal**

Nos dois anos de avaliação, durante o período de pastejo, a altura média do pasto foi 3 cm menor no PF (Tabela 4), em relação ao PEC. Embora menor, em ambos os sistemas testados a altura da pastagem da aveia ficou entre 30 e 18 cm o que foi estabelecido por Mezzalira et al. (2014) e Kunrath et al. (2014), como estrutura do pasto ideal para que não haja redução da velocidade de ingestão. Portanto, nos dois sistemas testados a intensidade de pastejo pode ser considerada de leve a moderada.

Mesmo com pequenas diferenças na altura média do pasto, a MF foi 68% maior no PEC em relação ao PF (Tabela 4), indicando que alturas similares do dossel quando afetadas pelo sombreamento não necessariamente tem estrutura similar em relação as condições à pleno sol, a densidade de forragem 36% maior no PEC (Tabela 4) é um forte indício desta condição. Oliveira et al., (2022) em sua revisão sistemática e meta-análise também encontram densidades de forragem inferiores sob sombreamento e atribuíram esses resultados a redução da luminosidade, confirmando a necessidade de utilizar populações de árvores

menores para fornecer forragem adequada para os animais (Crestani et al., 2017; Santos et al., 2018).

Assim como Pontes et al. (2016) relataram baixa PTF sob sombra, quando os sistemas foram manejados utilizando uma meta de altura do dossel definida para condições de pleno sol, nossos resultados demonstraram uma TAF e, conseqüente, PTF durante o período experimental aproximadamente 40% menores no PF do que no PEC (Tabela 4).

Como já relatado na literatura esses resultados são dependentes da densidade de árvores por hectare, da orientação das árvores (norte-sul ou leste-oeste), bem como, da distância entre as linhas das árvores (Oliveira et al., 2022). No presente experimento, a menor produção de forragem no PF se deve principalmente a redução da PAR em 50 e 23% pela manhã e pela tarde, respectivamente (Tabela 3). Em ambientes sombreados a quantidade de PAR que atinge o pasto diminui significativamente, o que por sua vez determina a taxa fotossintética das plantas (Santiago-Hernández et al., 2016). O aumento da competição por água e radiação incidente pelas árvores impedem que a pastagem tenha maior TAF (Taiz et al., 2015). Deiss et al. (2014) estudando perfilhamento e produção de grão de aveia preta também verificou efeito negativo da redução da radiação no desenvolvimento e produção da aveia em sub-bosque de renques de eucalipto.

Além disso, durante condições de estresse hídrico, como no inverno (Figura 1), as plantas não conseguem compensar a PAR limitada acionando mecanismos para aumentar a eficiência do uso da radiação (Pereira et al., 2021). Os estômatos das folhas devem se abrir para permitir a difusão do dióxido de carbono na folha para utilizar a PAR (Pereira et al., 2021), no entanto, durante a escassez de água, os estômatos fecham ou fecham parcialmente para reduzir a perda de água, o que dificulta a absorção de dióxido de carbono (Feldhake 2009).

Segundo nossos resultados, quando as pastagens anuais hibernais em sistemas integrados são sombreadas, essas têm menor estabelecimento e desenvolvimento inicial comprometido pela presença das árvores. Conseqüentemente, a pastagem apresentou menor altura, MF e densidade no momento da entrada dos animais e isso contribuiu para a menor PTF no período do inverno e, conseqüentemente, produção animal limitada (Tabela 4).

No presente estudo, o GMD foi semelhante entre os sistemas PEC e PF (0.969 kg an<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e considerado satisfatório se comparado a outros trabalhos na região subtropical do Brasil com aveia-preta. Por exemplo, Pontes et al. (2018) encontraram GMD de 0,567 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em pastagem de aveia preta com azevém sombreada. Já Kunrath et al. (2020) em seu estudo sobre a influência da altura da pastagem de aveia e azevém na produção de pasto e animal obteve GMD similar ao encontrado neste estudo de 1,0 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Mesmo assim, o desempenho individual dos bois similar entre sistemas pode ser explicado pelas condições de manejo adotadas baseadas na manutenção da altura média do pasto próxima a 24 cm independente do sistema. Dessa forma, os animais tanto no PEC quanto no PF, tiveram semelhantes ofertas de forragem (Tabela 4) e alta oferta de folha de forragem (aproximadamente 2 vezes o consumo).

Para a manutenção de altura próxima a média pretendia no PF, a TL foi 47% maior no PEC. A variável do pasto que mais ajuda a explicar a diferença na TL no presente estudo é a TAF, que também foi 41% menor no PF, conseqüentemente, o GP foi 44% menor com a presença das arvores no PF (Tabela 4). Como reportado na meta-análise de Oliveira et al. (2022) o GP foi afetado pela taxa de lotação e não pelo GMD, assim como a TL é influenciada pela MF e pela TAF. Assim, fica evidenciado que menor estabelecimento da aveia em sobressemeadura em sistemas integrados com arvores, reduz a produção animal por reduzir a TAF e PTF.

## **2.5 CONCLUSÃO**

Fica evidenciado que no sistema com a presença do componente arbóreo a umidade do solo é reduzida, assim como a radiação fotossinteticamente ativa que incide sob as plantas de aveia preta. A redução destes parâmetros no sistema integrado com árvores ocasiona diminuição do estabelecimento da aveia preta, que resulta em menor produção vegetal durante o ciclo de pastejo e conseqüentemente menor da produção animal.

## **2.6 REFERÊNCIAS**

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil 2022. **ABIEC**, 2022.

BALBINO, Luiz Carlos et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, 2011.

BOSI, Cristiam; PEZZOPANE, Jose Ricardo M.; SENTELHAS, Paulo Cesar. 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, 2020.

CARVALHO, Paulo C. de 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". **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, v. 22, p. 1-21, 2016.

CAVALIERI-POLIZELI, Karina Maria Vieira et al. Soil Structural Quality and Relationships With Root Properties in Single and Integrated Farming Systems. **Frontiers in Environmental Science**, p. 820, 2022.

CRESTANI, Steben et al. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop–livestock–forest integration area. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 9, p. 859-871, 2017.

DEISS, Leonardo et al. Oat growth under different nitrogen doses in eucalyptus alley cropping system in subtropical Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, p. 1014-1023, 2014.

FAOSTAT. 2016. Food and agriculture organization of the United Nations Database, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, Rome, Italy.

FELDHAKE, Charles M. Forage evapotranspiration and photosynthetically active radiation interception in proximity to deciduous trees. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 7, p. 1170-1174, 2009.

FELDHAKE, C. M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry systems**, v. 53, n. 3, p. 297-303, 2001.

GEREMIA, Eliana Vera et al. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. **Livestock Science**, v. 212, p. 83-92, 2018.

GLATZLE, Sarah et al. Seasonal Dynamics of Soil Moisture in an Integrated-Crop-Livestock-Forestry System in Central-West Brazil. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 245, 2021.

KIRCHNER, Roque et al. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2371-2379, 2010.

KRUCHELSKI, Silvano et al. Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage growth and wood density in integrated crop-livestock systems. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 8, p. 1577-1588, 2021.

KUNRATH, Taise Robinson et al. Management targets for continuously stocked mixed oat× annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 71-76, 2014.

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

MEZZALIRA, Jean Carlos et al. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 153, p. 1-9, 2014.

MICHALK, David L. et al. Sustainability and future food security—a global perspective for livestock production. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 5, p. 561-573, 2019.

MOLENTO, M.B., Fortes, F.S., Buzatti, A., Kloster, F.S., Sprenger, L.K., Coimbra, E., & Soares, L. D. (2013). Partial selective treatment of *Rhipicephalus microplus* and breed resistance variation in beef cows in Rio Grande do Sul, Brazil. **Veterinary Parasitology**, 192(1-3), 234-239.

MORAES, A.; MOOJEN, E.L.; MARASCHIM, G. E. Comparação de métodos de taxas de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. In: **Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**, 27., 1990, Campinas. Anais... Campinas: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1990. p.332.

MORAES, Anibal et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

MOTT, Gerald O.; LUCAS, Henry L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **International grassland congress**. 1952. p. 1380-1395.

- MOTTET, Anne et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. **Global Food Security**, v. 14, p. 1-8, 2017.
- NABINGER, Carlos. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropical brasileiro. **I Simpósio de Forrageiras e Pastagens**, p. 25-76, 2006.
- OLIVEIRA, Alan Figueiredo et al. Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with Eucalyptus and Urochloa: Systematic review and meta-analysis. **Livestock Science**, p. 104973, 2022.
- PACIULLO, Domingos SC; PIRES, Maria FA; MÜLLER, Marcelo D. Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: Emphasis on silvopastoral systems. **Latin American Archives of Animal Production**, v. 25, n. 1-2, 2017.
- PACIULLO, Domingos SC et al. Pasture and animal production in silvopastoral and open pasture systems managed with crossbred dairy heifers. **Livestock Science**, v. 245, p. 104426, 2021.
- PEREIRA, Mariana et al. Beef cattle production on Piatã grass pastures in silvopastoral systems. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, 2021.
- PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, p. 110-119, 2015.
- POLIDORO, José Carlos et al. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture for controlling soil erosion in Brazil. In: **FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion**. 2019. p. 553-558.
- PONTES, Laíse da Silveira et al. Interactive effects of trees and nitrogen supply on the agronomic characteristics of warm-climate grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1531-1541, 2016.
- PONTES, Laíse da Silveira et al. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 90-97, 2018.
- PONTES, Laíse da Silveira et al. Long-term profitability of crop-livestock systems, with and without trees. **Agricultural Systems**, v. 192, p. 103204, 2021.
- PRASAD, J. V. N. S. et al. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 253-267, 2010.

RODRIGUES, Cynara Oliveira Diniz et al. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, p. 129-136, 2014.

SANTOS, Darliane de Castro et al. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, p. 174-180, 2018.

SANTIAGO-HERNÁNDEZ, Francisco et al. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. **Agroforestry systems**, v. 90, n. 2, p. 339-349, 2016.

SARTO, Marcos Vinicius Mansano et al. Deep Soil Water Content and Forage Production in a Tropical Agroforestry System. **Agriculture**, v. 12, n. 3, p. 359, 2022.

SCHMIDT, Denise et al. Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 64, p. 368-375, 2017.

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

SILVA, Rafael de Oliveira et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural systems**, v. 153, p. 201-211, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Plant physiology and development**. Sinauer Associates Incorporated, 2015.

WANG, Tiejun et al. Effect of vegetation on the temporal stability of soil moisture in grass-stabilized semi-arid sand dunes. **Journal of Hydrology**, v. 521, p. 447-459, 2015.

### 3 CAPÍTULO II - A INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS AUMENTA A EFICIÊNCIA E A RENTABILIDADE DA PRODUÇÃO PECUÁRIA?

#### RESUMO

Sistemas especificamente pecuários podem ser produtivos e rentáveis, porém, pouco sustentáveis, adicionar outros componentes a estes sistemas, como a lavoura e/ou a floresta, aumenta a complexidade e traz possíveis melhorias ao sistema. Utilizamos um conjunto de dados de um protocolo experimental de longa duração em Pinhais, PR para avaliar a rentabilidade e a eficiência da introdução de lavoura e ou floresta no sistema pecuária. Foram levantados dados de 5 anos de cultivo, de 2016/17 a 2020/21, em sistemas agrícolas especializado e mistos, sendo eles, Pecuária (PEC), Lavoura-Pecuária (LP), Pecuária-Floresta (PF) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF), com três repetições cada. Foram avaliadas a produtividade de grãos de milho, o ganho de peso vivo bovino, o acumulado de madeira, a produção de energia, a eficiência energética, a produção de proteína digestível humana (HDP) e a lucratividade. O ganho de peso vivo dos bovinos foi similar entre os sistemas de produção avaliados e entre os anos. A produtividade de grão de milho foi quase 50% superior no sistema LP em relação ao LPF. O acumulado de madeira foi similar entre o PF e o LPF. A energia produzida foi aumentando conforme o nível de integração dos sistemas, sendo superior no LPF em relação aos demais sistemas. Em todos os anos avaliados, a eficiência energética foi negativa no sistema PEC e maior no sistema LPF seguido do PF. A eficiência energética nos sistemas PF foi positiva nos anos 2016/17 e 2020/21, quando foi cultivo milho. Nos anos que houve a produção de milho, a HDP foi maior nos sistemas LP e LPF em comparação ao PEC e PF. A lucratividade no primeiro ano de cultivo do milho foi superior no LP em comparação aos outros sistemas, porém em 2020/21 no segundo ano da cultura o LPF apresentou menor lucratividade quando comparado ao PEC, PF e LP. Este estudo demonstrou que a introdução da lavoura e/ou floresta no sistema pecuário aumenta a produtividade e a eficiência energética do sistema. Já a lucratividade é afetada negativamente pela inclusão das árvores nos sistemas.

**Palavras chaves:** Sistemas de cultivo, Intensificação, Produtividade.

## ABSTRACT

Specifically livestock systems can be productive and profitable, however, not very sustainable, adding other components to these systems, such as crops and/or forests, increases complexity and brings possible improvements to the system. We used a dataset from a long-term experimental protocol in Pinhais, PR to evaluate the profitability and efficiency of introducing crops and/or forests into the livestock system. Data were collected for 5 years of cultivation, from 2016/17 to 2020/21, in specialized and mixed agricultural systems, namely, Livestock (L), Crop-Livestock (CL), Livestock-Forest (LF) and Crop-Livestock -Forest (CLF), with three repetitions each. Corn grain yield, bovine live weight gain, wood accumulation, energy production, energy efficiency, human digestible protein (HDP) production and profitability were evaluated. Live weight gain of cattle was similar between the evaluated production systems and between years. Corn grain yield was almost 50% higher in the CL system compared to the CLF. Wood accumulation was similar between LF and CLF. The energy produced increased according to the level of integration of the systems, being superior in the CLF in relation to the other systems. In all evaluated years, energy efficiency was negative in the L system and higher in the CLF system followed by the LF system. Energy efficiency in CL systems was positive in the years 2016/17 and 2020/21, when corn was grown. In the years that there was corn production, HDP was higher in CL and CLF systems compared to L and LF. Profitability in the first year of corn cultivation was higher in CL compared to other systems, but in 2020/21 in the second year of the crop, CLF showed lower profitability when compared to L, LF and CL. This study demonstrated that the introduction of crops and/or forests in the livestock system increases the productivity and energy efficiency of the system. Profitability is negatively affected by the inclusion of trees in the systems.

**Keywords:** Crop systems, Intensification, Productivity.

### 3.1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial atual, há uma crescente pressão social e política para a preservação dos ecossistemas naturais, em contrapartida a urbanização e a demanda por alimentos aumenta (Mottet et al., 2017). Com isso os modelos de produções agropecuárias especializadas com alto uso de recursos não renováveis são cada vez mais empregados, dissociando as culturas da pecuária (Garret, 2020), se distanciando cada vez mais da complexa e diversa natureza (Carvalho et al., 2021). Dentre os modelos de produção agropecuária no Brasil, estima-se que a pecuária utiliza aproximadamente 157 milhões de hectares de pastagens (ABIEC, 2022), e mais da metade dessa área apresenta algum estágio de degradação (Silva et al., 2017). A degradação das pastagens leva à erosão, o que causa diminuição da produtividade do solo e, conseqüentemente, compromete o desempenho animal (Carvalho et al., 2018).

Assim, desenvolver e adotar sistemas de produção sustentáveis de alto rendimento capazes de manter a produtividade das culturas em diferentes cenários é fundamental para a segurança alimentar global (Altieri et al., 2015) e a biodiversidade dos sistemas. Como alternativa, as práticas de intensificação sustentável são frequentemente citadas (Carvalho et al., 2021, Farias et al., 2020, Nunes et al., 2021, Peterson et al., 2020), elas se baseiam em usufruir dos processos naturais que os ecossistemas agrícolas podem oferecer (Doré et al., 2011), sem prejudicar a produtividade do sistema. Adotar estratégias de diversificação, como plantas de cobertura, integração de sistemas, implantação de plantio direto e rotação de culturas são algumas das práticas para produzir alimentos e fibras de forma rentável e com eficiência no uso de recursos (Lemaire et al., 2015).

Neste contexto, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) são propostos como estratégia para a intensificação sustentável dos sistemas alimentares, pois são diversos, dinâmicos e complexos (Lemaire et al., 2015, Farias et al., 2020). Eles são sistemas que imitam ecossistemas naturais e exploram as sinergias de processos biológicos (Anghinoni et al., 2013), alcançando altos níveis de produção, ao mesmo tempo em que potencializam diversos parâmetros que são indicadores de qualidade do solo e estabilidade do sistema (Alves et al., 2017; Carvalho et al., 2021, Nunes et al., 2021; Szymczak et al., 2020).

O pastoreio animal é a chave para os SIPA devido à capacidade de converter uma fonte de alimento não digestível pelo homem, como forragens, em fontes de alimentos digestíveis e altamente nutritivos para os humanos (Mottet et al. 2017), como carne e leite. Ainda, animais em pastejo aumentam a ciclagem de nutrientes, devolvendo ao solo via excreção os nutrientes que haviam retirados por ingestão (Farias et al., 2020), aumentam a eficiência do uso da terra (Zanten et al., 2016) e diversificam a renda das propriedades. A produção pecuária em SIPA reduz os riscos econômicos, pois os retornos anuais de commodities agrícolas e pecuárias geralmente não são correlacionados (Peterson et al., 2020). Além disso, a pecuária faz uma contribuição necessária e importante para a nutrição global, contribuindo com 17% de calorias e 33% de proteína (FAO 2019).

Agregando diversidade na pecuária como espécies C<sub>4</sub> para produção de grãos tem-se um aumento da mitigação de gases de efeito estufa, uma vez que ao longo do tempo os estoques de carbono e nitrogênio aumentam no solo (Freitas et al., 2020). Já a presença de eucalipto em um sistema além de aumentar o estoque de carbono, melhora o desenvolvimento microbiano do solo e o valor nutritivo da forragem (Guillot et al., 2019; Pezzopane et al., 2021).

No entanto, se pretendemos utilizar os SIPA como ferramenta de intensificação sustentável, é imprescindível avaliar além da produtividade outros parâmetros de eficiência do sistema. A hipótese levantada é de que quanto maior a biodiversidade e a complexidade ecológica criada por diferentes arranjos de SIPA maior é a produtividade do sistema, a eficiência energética, a produção de HDP e a lucratividade. Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar a rentabilidade, eficiência produtiva e produção energética da introdução de lavoura e ou floresta no sistema pecuária.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Descrição da área e histórico experimental**

Para a realização deste trabalho, foram utilizados resultados obtidos de 2016 a 2021 do protocolo experimental de longa duração do Núcleo de Inovações Tecnológicas em Agropecuária (NITA), localizado na Estação Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, em Pinhais, estado do Paraná, Brasil (Figura 1). As coordenadas geográficas são 25°23'30"

S de latitude e 49°07'30" W de longitude. A área está localizada dentro da Área de Proteção Ambiental do Iraí (Decreto n° 2200), portanto, não foram utilizados nenhum tipo de agrotóxico.

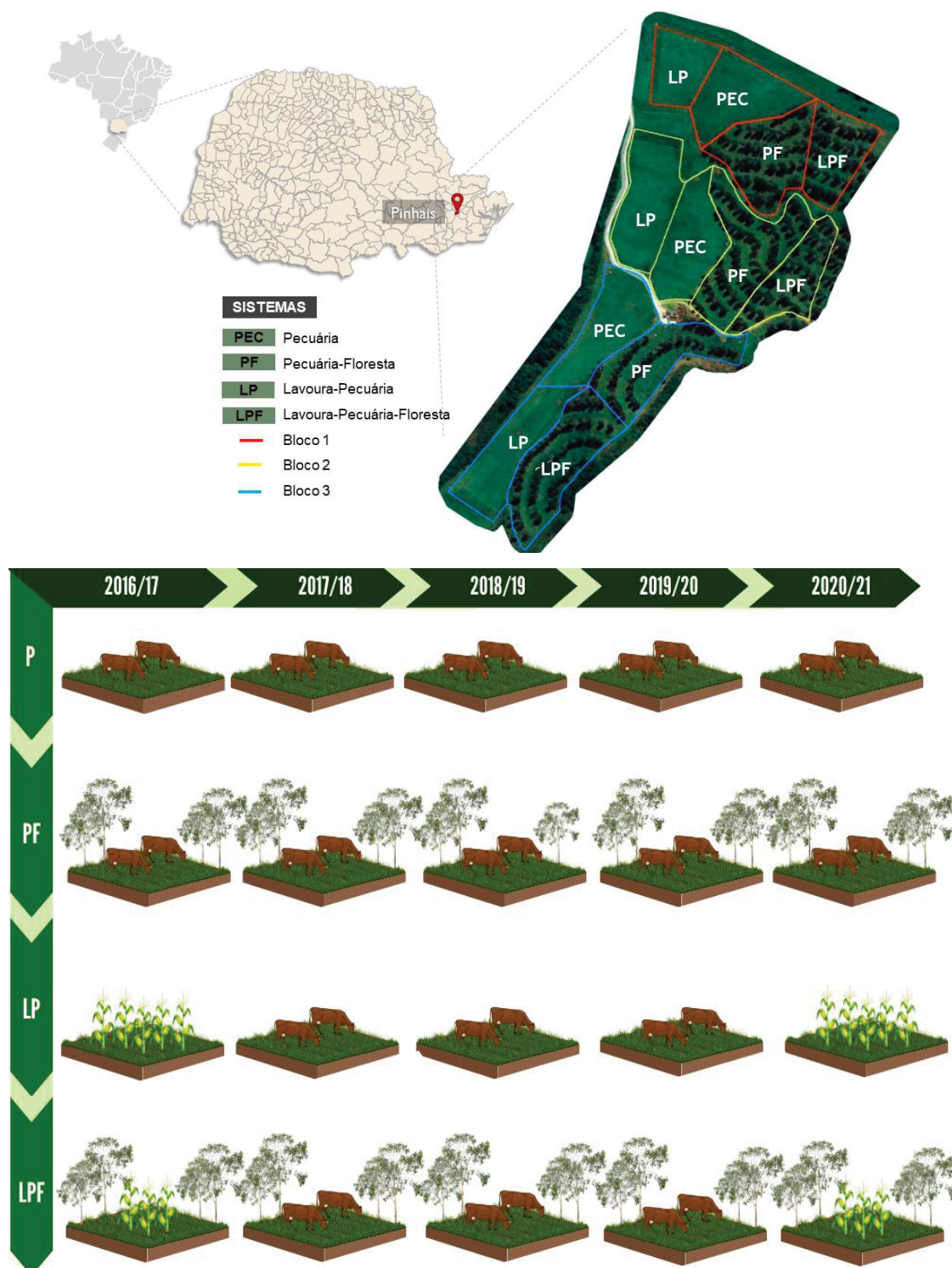
O clima da região, segundo Koppen, é classificado como Cfb e caracteriza-se por apresentar precipitação média anual de 1400 mm, temperatura mínima média de 12,5°C e temperatura máxima média de 22,5°C, estando sujeito a geadas frequentes e severas. De acordo com a classificação de solos WRB/FAO, a área experimental possui Cambissolos, Ferralssolos e associação de ambos os grupos, com pequenas porções de Gleissolos (Dominschek, 2021). A textura do solo é argilosa com 519 g kg<sup>-1</sup> de argila, 112 g kg<sup>-1</sup> de silte e 369 g kg<sup>-1</sup> de areia (Cavaliere-Polizeli, et al., 2022).

Em 2013, antes do início do experimento, o solo da área experimental apresentava pH de 5,2, carbono orgânico do solo de 20 g kg<sup>-1</sup>, capacidade de troca de cátions de 13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 60% de saturação por bases. No inverno de 2013 (maio), foi implantada a cultura da aveia preta (*Avena strigosa*), na densidade de 60 kg ha<sup>-1</sup>, como cobertura vegetal, a qual foi adubada com 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na linha de plantio. No período de verão de 2013 (dezembro), foi semeada a pastagem perene capim áries (*Megathyrsus maximus* cv. Áries), na densidade de 20 kg ha<sup>-1</sup>. Neste mesmo ano, foi realizado o plantio de eucalipto (*Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage) em arranjo espacial de linhas simples com espaçamento de 14 m entre linhas e 2 m nas linhas, com densidade inicial de aproximadamente 357 árvores ha<sup>-1</sup>, nos sistemas de integração com floresta.

### 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado em 2013, em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. O fator de bloqueamento foi a declividade do terreno e dos padrões de drenagem da área, sendo o bloco 1 e 2 divididos por uma curva de nível divergente e, entre os blocos 2 e 3, pelo divisor de águas. Para este estudo foram utilizados quatro sistemas de produção, sendo eles: Pecuária (PEC), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF), em uma área de aproximadamente 22 ha (Figura 1), sendo cada unidade amostral de aproximadamente 1,6 hectares.

Figura 1 - Localização do protocolo experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica (NITA) na área da fazenda experimental Canguiri da UFPR (A) e representação esquemática dos tratamentos durante os anos avaliados (A).



Os dados utilizados se referem aos anos agrícolas de 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21, as condições de clima da região do experimento nestes anos estão referenciadas na Tabela 1. Em todos os anos nos quatro

sistemas de produção foi sobressemeada em linha na pastagem perene no outono-inverno aveia preta na densidade de 80 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1). O azevém (*Lolium multiflorum*) também estava presente nas áreas por ressemeadura natural. O milho (*Zea mays*) foi a cultura agrícola cultivada no LP e LPF, nos anos de 2016/17 e 2020/21 durante o verão, nestes sistemas foram integrados três anos de pastejo, e um ano com cultivo de aveia preta não pastejada no outono/inverno e milho no verão.

Tabela 1 - Precipitação mensal e temperatura média, dados obtidos da estação meteorológica SIMEPAR Pinhais - PR nos anos de 2016 a 2021.

Ano	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	Precipitação (mm)					
Jan	164	154	237	270	139	135
Fev	320	91	105	194	112	148
Mar	92	86	230	50	20	141
Abr	68	78	4	101	24	30
Mai	141	88	21	202	25	98
Jun	111	140	100	55	134	95
Jul	96	9	6	25	50	20
Ago	171	68	38	52	140	111
Set	117	28	57	106	40	61
Out	184	213	277	75	103	184
Nov	94	82	59	142	136	32
Dez	83	243	106	34	159	150
	Temperatura (°C)					
Jan	20.4	21.1	20.2	22.6	20.7	20.8
Fev	21.5	21.7	19.2	20.2	19.9	20.3
Mar	20.1	18.9	20.7	19.8	19.4	20.6
Abr	20.3	17.1	18.5	19.0	17.3	16.8
Mai	14.6	16.2	16.0	17.1	14.8	15.2
Jun	11.2	14.3	14.3	15.9	15.8	13.4
Jul	13.7	13.1	15.2	13.9	14.5	11.8
Ago	14.0	14.6	13.7	14.3	14.4	15.4
Set	14.8	18.2	16.1	16.5	17.9	17.3
Out	16.3	17.4	16.5	19.1	18.3	15.8
Nov	17.6	17.6	18.1	18.5	18.0	18.5
Dez	20.1	19.7	21.1	19.8	20.1	19.3

Durante os anos de condução do experimento a adubação foi similar entre os sistemas de produção testados (Tabela 2) independente do cultivo ou não de milho. As quantidades utilizadas seguiram a recomendação para a cultura mais

exigente (milho) de acordo com manual de recomendação de adubação e calagem (CQFS-RS/SC, 2004).

Tabela 2 - Data de entrada e saída dos animais, duração do pastejo e ciclo de adubação no período de 2016/17 a 2020/21

Ciclo	Data de entrada	Data de saída	Duração do ciclo dias	Adubação Kg ha <sup>-1</sup>		
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2016/17	15/07/2016	21/04/2017	280	315	162	180
2017/18	23/06/2017	27/04/2018	308	225	81	120
2018/19	24/08/2018	12/04/2019	231	277	54	60
2019/20	14/06/2019	12/03/2020	272	225	81	90
2020/21	31/07/2020	02/04/2021	245	135	54	90

### 3.2.3 Condução e avaliações da produção animal

Os animais utilizados foram bovinos machos que entravam no experimento com idades de 7 a 10 meses. Nos sistemas com pecuária o método de pastoreio utilizado foi o contínuo com taxa de lotação variável, segundo a técnica put-and-take descrita por Mott & Lucas (1952), permanecendo na área três animais testes e número variável de animais reguladores. O critério de manejo adotado foi baseado no pastoreio rotatínuo (Carvalho et al., 2016), que visa propiciar uma altura média do pasto que maximiza a taxa de ingestão de forragem. No presente experimento a altura pretendida foi de 26 cm. Os animais entraram na área quando a aveia preta estava com 30 cm de altura e foram retirados no ano posterior para o estabelecimento da pastagem hibernal em meados de abril. Na média dos anos a permanência dos animais na área experimental foi de 267 dias (Tabela 2).

A cada 28 dias, foi realizada a pesagem dos animais em jejum de sólidos e líquidos por 12 horas, para obtenção do ganho médio diário (GMD). O GMD foi calculado com base no peso inicial e final do animal dividido pelo número de dias que os animais permaneceram em pastejo. A taxa de lotação em cada unidade experimental foi calculada pela adição do peso vivo dos animais testes com o peso vivo dos animais reguladores. Já o ganho de peso por área foi calculado pela multiplicação do GMD dos animais testes pela taxa de lotação por hectare, dividido pelo peso corporal médio dos animais testes. O manejo sanitário dos

animais foi realizado de maneira seletiva para endo e ectoparasitas, medicando apenas os animais que atingissem determinada incidência parasitária, conforme proposto por Molento (2013).

#### **3.2.4 Condução e avaliações da produção de grãos**

O milho foi semeado pela técnica plantio direto na planta “planting green” sob a aveia preta ao final da fase reprodutiva sem dessecação. Nos anos de 2016/17 e 2020/21, as cultivares “30F53VYHR” e “Sol da Manhã” foram utilizadas nas densidades de semeadura de 133000 e 90000 sementes ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No ciclo de 2016/17, a semeadura do milho foi realizada de 08/10/2016 a 11/10/2016, com 6 sementes m<sup>-1</sup> e espaçamento de 45 cm entre linhas. No ciclo de 2020/21, a semeadura foi de 14/10/2020 a 17/10/2020, com 4 sementes m<sup>-1</sup> e espaçamento de 45 cm entre linhas. A semeadura em ambos os ciclos foi realizada com uma semeadora de plantio direto. No presente experimento, não foram realizados tratamentos culturais como controle de plantas invasoras, controle de pragas e doenças com agroquímicos.

Para estimar a produtividade de grãos, todas as espigas de milho em três linhas de 3 m foram amostradas manualmente e processadas em laboratório. O rendimento de grãos foi calculado em kg ha<sup>-1</sup> e os dados foram ajustados a 13% de umidade.

#### **3.2.5 Condução e avaliações florestais**

Em 2015, os eucaliptos foram desramados com remoção dos galhos até 50% da altura das árvores e em 2016, com remoção dos galhos até a altura de 6 m (Kruchelski, 2021). Em 2017, as árvores sofreram desbaste e a população passou a ser de aproximadamente 174 árvores ha<sup>-1</sup>, em 2019 as árvores sofreram um novo desbaste e a população passou a ser de 52 árvores ha<sup>-1</sup> (Kruchelski, 2021).

As avaliações do componente arbóreo foram realizadas 74 meses após o plantio, entre dezembro de 2019 e janeiro de 2020, foi aferido o crescimento das árvores por meio da altura total das árvores, do diâmetro altura do peito e pelo crescimento mensal em circunferência por meio de cintas dendométricas. Foi determinada também a densidade da madeira pelo método descrito na norma NBR 11.941 (ABNT 2003) (Kruchelski, 2021).

Para obter o volume de cada árvore foram abatidos três indivíduos por unidade experimental em 2015 e 2019. Com o volume obtido na cubagem do tronco, foram calculados os fatores de forma 0.516 para a medição de 2016/17, e 0.437 para os anos 2018/19 e 2019/20, que foram usados posteriormente para o cálculo do volume de árvores ha<sup>-1</sup>, bem como para o acúmulo de volume durante o período de medição das cintas dendrométricas.

### 3.2.6 Estimativa da produção de energia e eficiência energética

Para o cálculo da energia produzida (GJ ha<sup>-1</sup>) foram utilizados os dados históricos das produções de grãos nos anos de 2016/17 e 2020/21, produção de carne em 2017/18, 2018/19 e 2019/20 e de madeira em 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 20/21. Para a análise descritiva da energia gerada nos diferentes sistemas agrícolas especializados e integrados, foi realizada a conversão em energia da produtividade de cada componente do sistema. Os valores calóricos utilizados foram 8.33 MJ kg<sup>-1</sup> para grãos de milho (Santos, et al., 2007), 23.5 MJ kg<sup>-1</sup> para o peso vivo de bovinos (Sant'ana, 2011) e 19.65 MJ kg<sup>-1</sup> para peso das árvores (Lima et al., 2007).

$$E = p \times f_c \quad \text{Equação 1}$$

E: energia produzida em MJ ha<sup>-1</sup>; p: produtividade de grãos (Kg ha<sup>-1</sup>), carne (Kg de peso ha<sup>-1</sup>), ou acumulado de madeira (Kg ha<sup>-1</sup>); f<sub>c</sub>: fator de conversão.

A análise da eficiência energética foi baseada nos mesmos anos da produção de energia e foi calculada como o quociente entre a energia produzida e a energia consumida (Odum and Odum, 1981). Foram contabilizados os insumos para produção de cada sistema e atribuído um coeficiente energético.

$$Ef = Ep - Ec \quad \text{Equação 2}$$

Ef: eficiência energética; Ep: energia produzida em MJ ha<sup>-1</sup>; Ec: energia consumida em MJ ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.7 Estimativa da produção de Proteína Digestível Humana

A proteína digestível humana (HDP) (kg ha<sup>-1</sup>) é uma métrica que contabiliza a produção de proteína de um sistema (Zanten et al., 2016). Ela não é uma análise nutricional, mas sim uma forma de indicar a contribuição de um componente do sistema para suprir a demanda de proteína humana. A pecuária

por exemplo, converte proteína não comestível em formas comestíveis (Nunes et al., 2021).

A HDP foi calculada com a multiplicação das produtividades animal e vegetal do sistema pela digestibilidade proteica dos produtos (carne bovina e milho). O teor de proteína do milho foi assumido como sendo de 9.42% para um teor de umidade do grão de 13% (USDA, 2019). O teor de proteína de um novilho de 350 kg de peso vivo como 19% do seu peso corporal, com base nas equações do National Research Council (2016).

$$\text{HDP} = p \times f_c \quad \text{Equação 3}$$

HDP: proteína digerível humana em Kg ha<sup>-1</sup>; p: produtividade de grãos (Kg ha<sup>-1</sup>), carne (Kg de peso ha<sup>-1</sup>), ou acumulado de madeira (Kg ha<sup>-1</sup>); f<sub>c</sub>: fator de conversão.

### 3.2.8 Avaliação da lucratividade

A lucratividade foi calculada como: (1) a diferença entre os custos operacionais do milho e das plantas de cobertura e as receitas das vendas de grãos nos sistemas LP e LPF nos ciclos de 2016/17 e 2020/21, (2) a diferença entre os custos operacionais dos eucaliptos e a receita da venda das árvores nos sistemas PF e LPF nos ciclos de 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21 e (3) a diferença entre os custos da pecuária, custo de oportunidade do capital investido em gado de corte [calculado como o produto da taxa média de lotação, preço do gado e taxa de juros da caderneta de poupança equivalente ao número médio de dias de pastejo (~ 2% de taxa de juros) de acordo com o Banco Central do Brasil] e receitas de vendas de animais nos sistemas PEC e PF nos ciclos de 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21 e nos sistemas LP e LPF nos ciclos de 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

As receitas das lavouras foram calculadas com base nos preços de venda do mercado anual de grãos de milho, os custos anuais de produção de milho foram obtidos da Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil para a região de estudo (CONAB, 2022) e foram considerados os mesmos para todos os sistemas, dado o manejo similar entre as unidades experimentais. O ganho de peso vivo do boi foi utilizado para calcular a renda do gado, para os custos da pecuária somaram-se os custos das sementes, da adubação, do custo médio de medicamentos e suplementação mineral e o custo da compra dos bezerros. Os

custos anuais das plantas de cobertura foram calculados como a soma do preço das sementes e da adubação.

### 3.2.9 Análises estatísticas

A variáveis foram analisadas seguindo um modelo bifatorial, sistema × ano. As pressuposições de normalidade foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ( $p < 0,05$ ) no software R 4.2.0. Os resultados das variáveis produtividade de grãos, ganho de peso vivo, acúmulo de madeira, energia, eficiência energética, produção de HDP e lucratividade foram submetidos à análise de variância, pelo modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + S_{ik} + Y_j + (SY)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Equação 4}$$

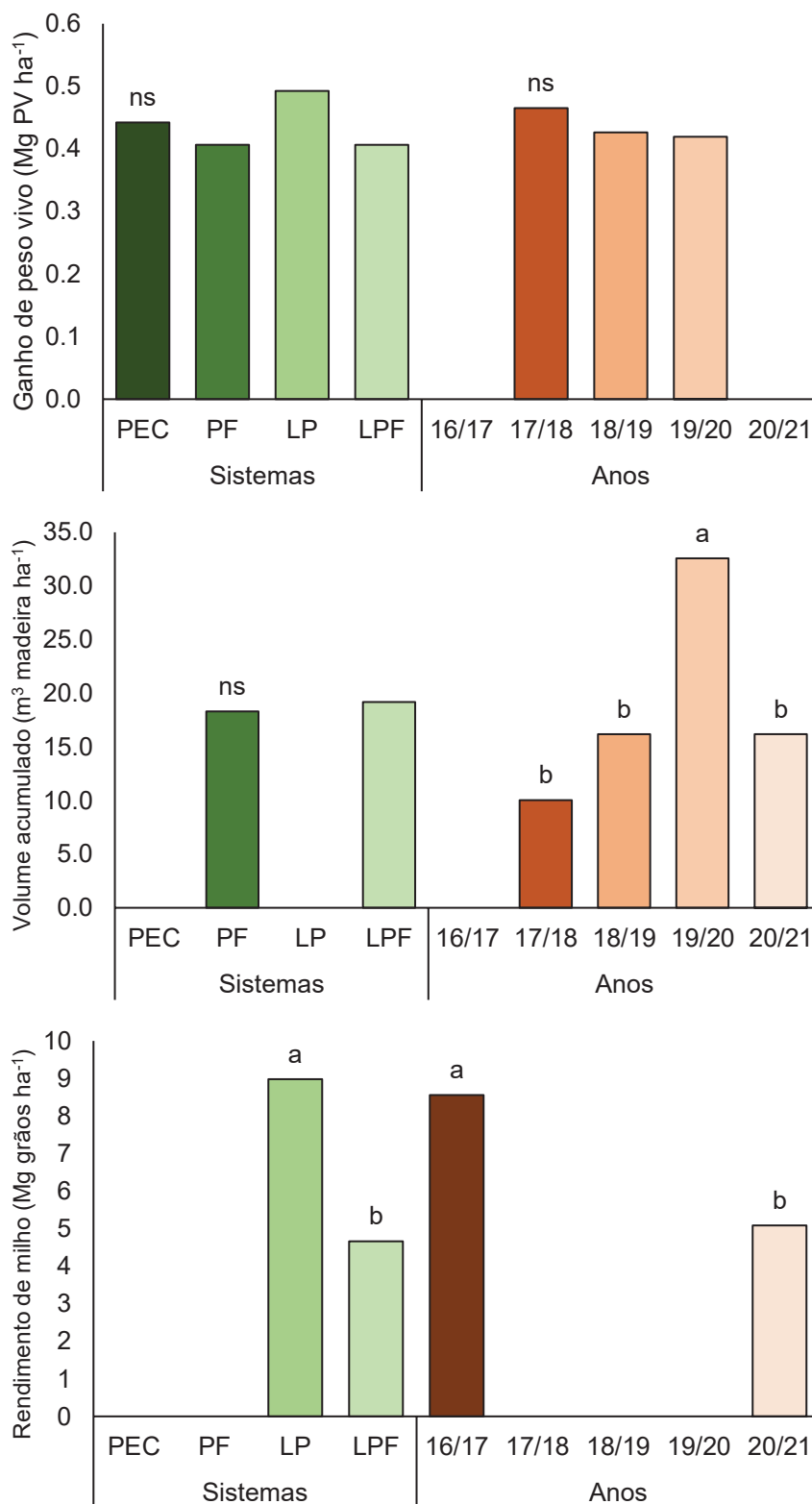
$Y_{ijk}$  = é o valor observado na parcela experimental;  $\mu$  = média geral do experimento;  $S_i$  = efeito do fator sistema (S);  $S_{ik}$  = efeito do fator S no bloco (k);  $Y_j$  = efeito do fator ano;  $(SY)_{ij}$  = efeito da interação entre o fator S e o fator Y e  $\varepsilon_{ijk}$  = erro experimental. Quando significativo o efeito dos fatores as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,050$ ).

## 3.3 RESULTADOS

### 3.3.1 Produtividade dos sistemas pecuária, lavoura e floresta

O ganho de peso vivo dos bovinos foi de 0,437 Mg Peso Vivo  $ha^{-1}$ , similar entre os sistemas de produção avaliados ( $p = 0,272$ ) e entre os anos ( $p = 0,517$ ; Figura 2a). A produtividade de grão de milho foi aproximadamente 50% superior no sistema LP em relação ao LPF ( $p < 0,001$ ). O primeiro ano de cultivo 2016/17 produziu 3472 kg  $ha^{-1}$  a mais de milho do que o último ano avaliado (2020/21) ( $p = 0,001$ , Figura 2b). A produtividade acumulada de madeira foi similar de 18,5  $m^3 ha^{-1}$  no PF e no LPF ( $p = 0,745$ ). No ano de 2018/19, o acumulado foi de 32,5  $m^3 ha^{-1}$ , sendo 50% maior do que nos outros anos avaliados ( $p < 0,001$ , Figura 2c).

Figura 2 – Ganho de peso vivo (a) em 2017/18, 2018/19 e 2019/20, rendimento de grãos de milho (b) em 2016/17 e 2020/2021 e volume de madeira acumulado (c) em 2016/17, 2017/ 18, 2018/19 e 2019/20 no município de Pinhais – PR.



Letras minúsculas diferentes representam diferença entre cada sistema ou ano ( $p < 0,05$ ), ns = não significativo, pelo teste de Tukey.

### **3.3.2 Energia, HDP, lucratividade e eficiência energética**

Não houve interação entre ano e sistema de produção para a produção de energia ( $p = 0,250$ ). A energia produzida foi maior conforme o nível de integração dos sistemas, sendo 92% superior no LPF em relação ao PEC ( $p < 0,001$ ; Tabela 4). Na média dos sistemas de produção, no primeiro ano de cultivo a produção de energia foi maior em relação aos anos de 2017/18, 2018/19 e 2019/20 ( $p = 0,004$ , Tabela 4).

Nos anos de 2016/17 e 2017/18, a HDP foi maior nos sistemas LP e LPF em comparação ao PEC e PF ( $p < 0,001$ , Tabela 4). Estes mesmos anos foram os que apresentaram maior HDP em comparação aos 5 anos avaliados nos sistemas LP e LPF ( $p < 0,001$ , Tabela 4).

A lucratividade no primeiro ano (2016/17) foi superior no LP ( $p < 0,001$ ) com o cultivo do milho em comparação aos outros sistemas. No ano 2020/21, segundo ano do cultivo do milho, o sistema LPF apresentou menor lucratividade quando comparado ao PEC, PF e LP (Tabela 4). O sistema LP apresentou maior lucratividade nos dois anos de cultivo do milho, sendo 85% superior no primeiro ano e 56% superior no segundo ano quando comparados a média dos outros sistemas ( $p < 0,001$ , Tabela 4).

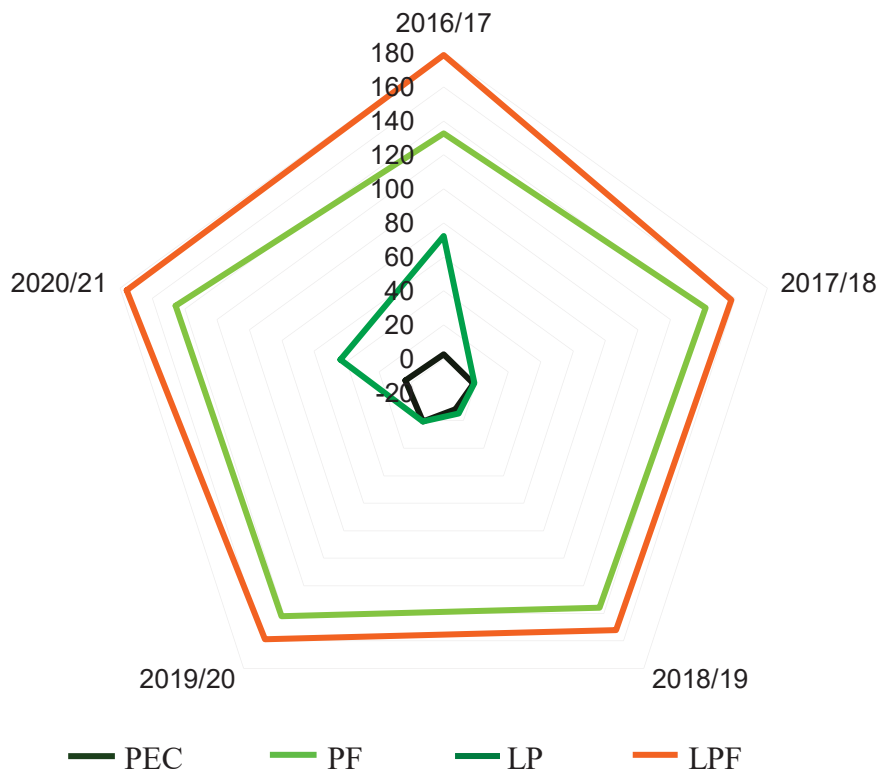
Tabela 4 - Produção de Energia, Proteína Humana Digerível e Rentabilidade nas safras 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21, no município de Pinhais – PR.

Sistemas	Anos					Means
	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	
	Energia (GJ ha <sup>-1</sup> )					
P	19	11	9	11	13	13 d
PF	159	155	153	152	155	155 b
LP	93	12	12	11	56	37 c
LPF	210	170	170	169	188	181 a
Média	120 A	87 B	86 B	86 B	103 AB	
	Proteína Digestível Humana (kg HDP ha <sup>-1</sup> )					
P	151 cA	90 aA	74 aA	88 aA	104 cA	
PF	119 cA	87 aA	76 aA	69 aA	89 cA	
LP	1054 aA	94 aC	98 aC	89 aC	638 aB	
LPF	558 bA	83 aC	78 aC	72 aC	320 bB	
	Lucratividade (USD ha <sup>-1</sup> )					
P	501 bA	300 aABC	137 aC	191 aBC	289 aAB	
PF	292 bA	368 aA	270 aA	220 aA	322 aA	
LP	1779 aA	324 aB	195 aB	248 aB	582 aA	
LPF	475 bA	340 aA	157 aAB	239 aA	55 bB	

Valores seguidos da mesma letra maiúscula representam semelhança entre os anos dentro de cada sistema ( $p < 0,05$ ), e letras minúscula representam semelhança entre os sistemas dentro de um ano ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Em todos os anos avaliados, a eficiência energética foi negativa no sistema PEC e maior no sistema LPF seguido do PF (Figura 3). A eficiência energética nos sistemas LP foi positiva nos anos 2016/17 e 2020/21, quando foi cultivado milho.

Figura 3 – Eficiência energética dos sistemas produtivos nos anos de 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21, no município de Pinhais – PR.



### 3.4 DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Produtividade dos componentes dos sistemas

A produtividade média do milho em 2016/17 no Paraná, situado na região sul do Brasil, foi de 5456 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017), no mesmo ano em nosso estudo a média de produtividade de grãos dos sistemas foi 3100 kg ha<sup>-1</sup> superior à média estadual, já no segundo ciclo de integração (2020/21) a média estadual foi de 3315 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB 2021), permanecendo menor que a média deste experimento que foi de 5085 kg ha<sup>-1</sup>. Mesmo os sistemas de cultivo sendo baseados em técnicas conservacionistas, como a não utilização de agrotóxicos, plantio direto na planta e o uso consciente de fertilizantes as produtividades de grãos de milho foram elevadas e maiores que a média estadual.

O primeiro ano de cultivo do milho apresentou produtividades elevadas para a média dos sistemas (Figura 2b), cerca de 8500 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho, já o segundo ciclo de sistema integrado produziu 5000 kg ha<sup>-1</sup>, evidenciando que este tipo de manejo diminui sua eficiência produtiva ao longo do tempo. Isso se

deve em partes pela mudança na paisagem, ou seja, em 2016 os eucaliptos possuíam em média 11 m de altura, já em 2020 eles atingiram aproximadamente 25 m, resultando em maior interferência das árvores sobre a lavoura. O LPF produziu 4300 kg ha<sup>-1</sup> de grãos a menos do que o sistema a pleno sol (Figura 2b), devido à competição por luz, água e nutrientes. Esta análise da produtividade do milho apoia estudos anteriores que mostram que o sombreamento é prejudicial à produtividade da cultura (Mendes et al., 2013; Moreira, 2018).

A produção animal de 0,437 Mg Peso Vivo ha<sup>-1</sup> foi similar entre os sistemas de produção (Figura 2a), o que representa aproximadamente 3,6 vezes mais que média nacional (ABIEC, 2022). Nunes et al. (2021) encontraram valores de produção animal similares para este estudo de 0,428 Mg Peso Vivo ha<sup>-1</sup> com intensidade moderada de pastejo em SIPA. Assume-se que os bovinos foram mantidos em boas e semelhantes condições de manejo da pastagem nos quatro sistemas de produção durante os anos avaliados. Evidenciando que a similaridade da produção animal se deve principalmente ao bom manejo do pasto e dos animais e não necessariamente aos componentes que integram o sistema.

O acúmulo de madeira foi similar entre o PF e o LPF (Figura 2c), isso se deve provavelmente as condições edáficas, climáticas e de manejo semelhantes nos dois sistemas. No entanto, são necessárias pesquisas para entender melhor como os bovinos acabam afetando as árvores em SIPA (Kruchelski et al. 2022), neste estudo aparentemente desde que o sistema seja bem manejado a presença de animais não reduz a produtividade de madeira. O aumento no acúmulo de madeira em 2019/20, deve-se ao desbaste realizado antes desse período, o que proporcionou aumento no incremento do volume individual de caule das árvores, quando o espaçamento foi aumentado (Kruchelski et al. 2021).

### **3.4.2 Eficiência energética e lucratividade dos sistemas de produção**

A diversidade e a complexidade trófica em agroecossistemas são fatores importantes na intensificação sustentável, afetando a sustentabilidade do sistema ao longo do tempo (Farias et al., 2020). Essa diversidade e complexidade de sistemas aumentam a produção de uma área agrícola

reduzindo riscos financeiros e impactos ambientais pela diversificação e complexidade (Carvalho et al., 2018). Neste sentido, o presente estudo demonstrou que a introdução da lavoura à pecuária é capaz de aumentar a produção de energia de um sistema, porém, a maior produção de energia ocorreu no sistema LPF (Tabela 4), que possui maior nível de integração dos componentes (pecuária, lavoura e floresta). Assim, indicando que o aumento da complexidade pela integração da produção de grãos e produção de madeira, que possuem alto potencial energético, geram incrementos de energia ao sistema pecuária (Alvarado et al., 2018; Woldemedhin et al., 2022).

A eficiência energética de um sistema depende das estratégias adotadas na propriedade, como os insumos que serão utilizados e o tipo de manejo adotado (Pérez et al., 2019). Nos sistemas agrícolas sustentáveis, a energia que entra no sistema é incorporada aos ciclos ecológicos por meio de práticas de manejo que maximizam o uso da energia (Gabella et al., 2019, Pérez et al., 2019). No presente estudo a eficiência energética foi negativa no sistema PEC e no LP durante os anos que não havia a produção de milho (Figura 3), indicando que a pecuária solteira está sendo ineficiente, ou seja, está consumindo mais energia do que está gerando. Porém, quando a pecuária é integrada a floresta ou floresta mais lavoura, como nos sistemas PF e LPF, a eficiência energética foi maior. O incremento se dá pela introdução das árvores nestes sistemas, já que elas são componentes que acumulam mais energia em um sistema produtivo (Pérez et al., 2019).

Quantificar a produção de HDP é uma maneira de ter uma visão imparcial da contribuição dos bovinos para a segurança alimentar em função do manejo, visto que, é quantificada pela quantidade de proteína comestível de origem animal produzida por kg de proteína comestível humana de origem vegetal. Neste estudo, nos anos de cultivo do milho, 2016/17 e 2017/18, a HDP aumentou em pelo menos 80% nos sistemas LP e LPF em comparação ao PEC e PF (Tabela 4), demonstrando a importância da inclusão da lavoura em um sistema pecuário. A inclusão da lavoura na pecuária tem a capacidade de aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, considerando a qualidade dos alimentos produzidos para nutrição humana, bem como a capacidade desses sistemas de produzir alimentos a partir de recursos humanos não comestíveis (Farias et al., 2020; Pérez et al., 2019; Nunes et al., 2021).

Os SIPA além de serem sustentáveis são apresentados como uma forma de diversificação de renda (Carvalho et al., 2018). A viabilidade econômica de todos os sistemas ficou comprovada neste estudo, já que independentemente do sistema de produção a lucratividade foi positiva (Tabela 4). Na soma dos cinco anos o sistema LP gerou lucratividade de aproximadamente US\$ 1500,00 por ha<sup>-1</sup> a mais que os outros sistemas, como também maior lucratividade nos anos de 2016/17 e 2020/21, quando comparado aos outros anos (Tabela 4), o que é explicado pela maior produção de grãos no LP em ambos os anos (Figura 2).

### 3.5 CONCLUSÃO

A integração de lavoura e árvores na pecuária aumenta a produtividade total do sistema. A inserção da lavoura na pecuária, nesse caso com a cultura do milho aumenta a produção deste sistema, a HDP e a eficiência energética nos anos de produção da cultura resultando em maior lucratividade do sistema. Já a integração da lavoura e floresta com a pecuária aumenta a produção de energia, a eficiência energética e a HDP, porém reduz a produtividade de milho e, por consequência, a lucratividade deste sistema.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil 2022. **ABIEC**, 2022.
- ALVES, Helena N. et al. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 60, p. 419-426, 2017.
- ALTIERI, Miguel A. et al. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, n. 3, p. 869-890, 2015.
- ALVARADO, Fredy et al. Forest cover is more important than farmland heterogeneity and livestock intensification for the retention of dung beetle phylogenetic diversity. **Ecological indicators**, v. 93, p. 524-532, 2018.
- ANGHINONI, Ibanor; CARVALHO, PC de F.; COSTA, SEVG de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em ciência do solo**, v. 8, n. 2, p. 325-380, 2013.

CARVALHO, Paulo César de Faccio 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”. **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, v. 22, p. 1-21, 2016.

CARVALHO, Paulo César de Faccio et al. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

CARVALHO, Paulo César de Faccio et al. Reconnecting nature and agricultural production: mixed cropping systems as a way forward sustainable intensification. **Boletim De Indústria Animal**, v. 78, p. 1-16, 2021.

CAVALIERI-POLIZELI, Karina Maria Vieira et al. Soil Structural Quality and Relationships With Root Properties in Single and Integrated Farming Systems. **Frontiers in Environmental Science**, p. 820, 2022.

Companhia Nacional de Abastecimento (**CONAB**). Boletim de grãos. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/1704-9->, 2017.

Companhia Nacional de Abastecimento (**CONAB**). Boletim de grãos. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/16736-12-levantamento-safra-2020-21>, 2021.

Companhia Nacional de Abastecimento (**CONAB**). Planilhas de custos de produção - Séries históricas. <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/414-planilhas-de-custos-de-producao-series-historicas>, 2022.

DOMINSCHEK, Rubia et al. Crop rotations with temporary grassland shifts weed patterns and allows herbicide-free management without crop yield loss. **Journal of Cleaner Production**, v. 306, p. 127140, 2021.

DORÉ, Thierry et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. **European journal of agronomy**, v. 34, n. 4, p. 197-210, 2011.

FAO. Production and Resources. Climate-smart livestock production. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2019.

FARIAS, Gustavo Duarte et al. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 6, p. 1-9, 2020.

FREITAS, Igor Costa et al. Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology & Management**, v. 73, n. 6, p. 776-785, 2020.

GABELLA, J.I., LOPEZ F., ALAMO M.A., Agroecological transition in extensive production of the semi-arid pampa region of Argentina. **RIA**, 45, pp. 52-60, 2019.

GARRETT, Rachael D. et al. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. **Ecology and Society**, v. 25, n. 1, p. 24, 2020.

GUILLOT, Esther et al. With or without trees: resistance and resilience of soil microbial communities to drought and heat stress in a Mediterranean agroforestry system. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 129, p. 122-135, 2019.

KRUCHELSKI, Silvano et al. Eucalyptus benthamii Maiden et Cabbage growth and wood density in integrated crop-livestock systems. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 8, p. 1577-1588, 2021.

KRUCHELSKI, Silvano et al. Growth and productivity of Eucalyptus benthamii in integrated crop–livestock systems in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, p. 1-13, 2022.

LEMAIRE, G. et al. Grassland–cropping rotations: an avenue for agricultural diversification to reconcile high production with environmental quality. **Environmental management**, v. 56, n. 5, p. 1065-1077, 2015.

LIMA, E. A. et al. Balanço energético da produção de Eucalyptus benthamii para uso em programas de bioenergia. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

MENDES, Marlete Moreira de Sousa et al. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau-branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1342-1350, 2013.

MOLENTO, Marcelo Beltrão et al. Partial selective treatment of Rhipicephalus microplus and breed resistance variation in beef cows in Rio Grande do Sul, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 192, n. 1-3, p. 234-239, 2013.

MOREIRA, Elwira Daphinn Silva et al. Production efficiency and agronomic attributes of corn in an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 419-426, 2018.

MOTT, G. O. et al. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In **Proceedings of the international grassland congress**. P. 1380–1385, 1952.

MOTTET, Anne et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. **Global Food Security**, v. 14, p. 1-8, 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Growth and Body Reserves. In: **Nutrient Requirements of Beef Cattle**, pp. 22–39, 2016.

NUNES, Pedro Arthur et al. Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.

ODUM, Howard T.; ODUM, Elisabeth C. Energy basis for man and nature. 1981.

PÉREZ, Ingrid Abril Valdivieso et al. Potential for organic conversion and energy efficiency of conventional livestock production in a humid tropical region of Mexico. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118354, 2019.

PETERSON, Caitlin A. et al. Resilience of an integrated crop–livestock system to climate change: a simulation analysis of cover crop grazing in southern Brazil. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 604099, 2020.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and PAR transmittance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 312, p. 107350, 2021.

SANT'ANA, N. de F. Body composition and net requirements of protein and energy for weight gain of Nellore and crossbreed steers finished under grazing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.912-921, 2011.

SANTOS, Henrique Pereira et al. Efeito de práticas culturais na conversão e balanço energético. **Bragantia**, v.66, p.299-306, 2007.

SANTOS, Henrique Pereira dos et al. Conversão e balanço de energia de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1193-1199, 2011.

SILVA, Rafael de Oliveira et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural systems**, v. 153, p. 201-211, 2017.

SZYMCZAK, Leonardo Silvestri et al. System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration. **Agricultural Systems**, v. 184, p. 102904, 2020.

USDA. Agricultural research service of the United States Department of Agriculture: **FoodData Central**. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174270/nutrients> (2019).

WOLDEMEDHIN, Dagne Getachew; ASSEFA, Engdawork; SEYOUM, Abrham. Forest Covers, Energy Use, and Economic Growth Nexus in the Tropics: A Case of Ethiopia. **Trees, Forests and People**, v. 8, p. 100266, 2022.

ZANTEN, Hannah HE et al. Global food supply: land use efficiency of livestock systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 5, p. 747-758, 2016.

## 4 APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Índices energéticos dos insumos utilizados

<b>Energia consumida</b>			
		Unidade	MJ
Semente	-Aveia Preta	kg	17.2
	-Milho	kg	103.8
Muda eucalipto		un	28.2
Fertilizantes	-N	kg	77.5
	-P	kg	14.0
	-K	kg	9.7
Sal bovino		kg	215.9
Semeadura		h/e.t.	29.3
Adubação		h/e.t.	9.9
Colheita		h/cal	783.0
<b>Energia produzida</b>			
Carne		kg	23.5
Milho		kg	8.3
Madeira		kg	19.6

### APENDICE 2 – Adubação realizada na área por ano avaliado

Ano	Fertilizante	Quantidade (kg/ha)	Valor	Valor total
			R\$/ha	
2016	Cloreto de potássio	300	276	766.05
	Fosfato natural	600	14	
	Ureia	700	476	
2017	Cloreto de potássio	200	139	488.877
	Fosfato natural	300	8	
	Ureia	500	341	
2018	Cloreto de potássio	100	79	647.6642
	Fosfato natural	200	6	
	Ureia	615	563	
2019	Cloreto de potássio	150	151	644.2905
	Fosfato natural	300	10	
	Ureia	500	483	
2020	Cloreto de potássio	150	155	517.319
	Fosfato natural	200	7	
	Ureia	300	355	

APÊNDICE 3 – Variáveis para o cálculo da lucratividade dos sistemas durante os anos avaliados

Sistema	Lavoura	Cobertura	Pecuária	CUSTOS (R\$ ha <sup>-1</sup> )			Oportunidade de capital	Lavoura	Pecuária	Floresta
				Bezerro	Eucalipto	835				
P			941	3859		77		4877		
PF			941	2877	835	58		3876	835	
LP	1163	905					2068			
LPF	1163	905			835		2068			835
P			687	2815		56		3558		
PF			687	3026		61		3774		
LP			687	2004		40		2732		
LPF			687	2134		43		2864		
P			822	3879		78		4779		
PF			822	3104		62		3988		
LP			822	2881		58		3760		
LPF			822	3402		68		4694		
P			879	4046		81		5006		
PF			879	4234		85		5197		
LP			879	1852		37		2768		
LPF			879	1869		37		2786		
P			757	5943		122		6822		
PF			757	3551		95		4403		
LP	2037	729					2765			
LPF	2037	729					2765			

Continua ...

## ... Continuação

	Lavoura	Pecuária	Floresta	Lavoura	Pecuária	Floresta	Lucratividade
	RECEITA BRUTA (R\$ ha <sup>-1</sup> )			RECEITA LÍQUIDA (R\$ ha <sup>-1</sup> )			(R\$ ha <sup>-1</sup> )
	6632			1755			1755
	5582	152		1706	-682		1024
8298			6230				6230
4396		170	2328		-665		1663
	4517			959			959
	4795	152		1021	152		1174
	3765			1034			1034
	3778	170		914	170		1084
	5281			502			502
	4823	152		835	152		988
	4474			714			714
	5097	170		403	170		573
	5758			752			752
	5914	152		717	152		869
	3747			979			979
	3561	170		775	170		945
	8312			1490			1490
	5893	170		1490	170		1660
5769			3004				3004
2894		152	129		152		281