

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

LUIZA CAROLINE CHIEZI MENDES

ALTERAÇÕES NA PRODUTIVIDADE DO MILHO, DESEMPENHO ANIMAL E
LUCRATIVIDADE DE SISTEMAS INTEGRADOS PELA PRESENÇA DE
ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO

PONTA GROSSA

2024

LUIZA CAROLINE CHIEZI MENDES

ALTERAÇÕES NA PRODUTIVIDADE DO MILHO, DESEMPENHO ANIMAL E
LUCRATIVIDADE DE SISTEMAS INTEGRADOS PELA PRESENÇA DE
ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Zootecnia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa –
Produção Animal

Área de concentração: Nutrição de
Ruminantes e Forragicultura.

Orientadora: Prof.^a Dra. Laíse da Silveira
Pontes

Coorientador: Dr. Vanderley Porfírio-da-
Silva

PONTA GROSSA
2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>**TERMO****TERMO DE APROVAÇÃO****LUIZA CAROLINE CHIEZI MENDES****“ALTERAÇÕES NA PRODUTIVIDADE DO MILHO, DESEMPENHO ANIMAL E LUCRATIVIDADE DE SISTEMAS INTEGRADOS PELA PRESENÇA DE ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ponta Grossa, 21 de maio de 2024.

Profa. Dra. Laíse da Silveira Pontes – UEPG
Presidente

Documento assinado digitalmente
 SEBASTIAO BRASIL CAMPOS LUSTOSA
Data: 05/06/2024 11:56:00-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa - UNICENTRO
Membro Externo

Documento assinado digitalmente
 ANDRÉ BRUGNARA SOARES
Data: 23/06/2024 14:51:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. André Brugnara Soares – UTFPR
Membro Externo

Mendes, Luiza Caroline Chiezi

M537 Alterações na produtividade do milho, desempenho animal e lucratividade de sistemas integrados pela presença de árvores, doses de nitrogênio e estratégia de adubação / Luiza Caroline Chiezi Mendes. Ponta Grossa, 2024. 86 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Concentração: Produção Animal), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Laíse da Silveira Pontes.
Coorientador: Prof. Dr. Vanderley Porfírio-da-Silva.

1. Agricultura sustentável. 2. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 3. Integração Lavoura-Pecuária. 4. Rentabilidade. 5. Eucalyptus grandis. I. Pontes, Laíse da Silveira. II. Porfírio-da-Silva, Vanderley. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Produção Animal. IV.T.

CDD: 636



Documento assinado eletronicamente por Laise da Silveira Pontes, Professor(a), em 23/05/2024, às 09:47, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 2018761 e o código CRC 66FE8302.

24.000030012-0

2018761v2

AGRADECIMENTOS

À Deus... pelo dom da vida, saúde, alegrias e, principalmente, força durante todo esse trajeto.

Ao meu pai Madison Mendes, minha mãe Silvânia Chiezi Mendes pelo auxílio durante este processo de aprendizado. Vocês são o meu porto seguro. Agradeço por tudo que já fizeram e ainda continuam fazendo por mim. Obrigada, por tudo!

Ao CNPq, FEALQ e CAPES pela concessão do financiamento desse projeto de pesquisa e pela bolsa de mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, na qual tive oportunidade de realizar o curso de Mestrado em Zootecnia.

A Estação de Pesquisa Fazenda Modelo do IDR-PR-Emater, pela concessão da área experimental.

A Prof.^a. Dra. Laíse da Silveira Pontes pela orientação, paciência e conhecimentos compartilhados.

Ao Laboratório de Nutrição de Plantas da UEPG, e seus funcionários e técnicos, pelo auxílio nas análises químicas de plantas.

Aos estagiários da Estação de Pesquisa Fazenda Modelo do IDR-PR, Áchila Camila, Guilherme Lima e Rodrigo Golembiouski Amaral, a bolsista técnica Débora Rodrigues, por toda a ajuda, auxílio a campo, conversas, risadas e parceria, que tornaram todo o processo mais divertido. Vocês sabem o quanto foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A toda a equipe de funcionários da Estação de Pesquisa Fazenda Modelo do IDR-PR, pelos auxílios durante a condução do experimento e que me receberam de braços abertos na instituição, em especial ao Giliardi Stafin, por toda a ajuda destinada a técnicas à campo e também por todos os ensinamentos concedido.

O presente trabalho faz parte de um acordo de cooperação (Nº 104344 e Nº 571/2022) entre Fundação Araucária e FEALQ no qual tem recebido apoio financeiro.

“Se você quer transformar o mundo, experimente primeiro promover o seu aperfeiçoamento pessoal e realizar inovações no seu próprio interior. Estas atitudes se refletirão em mudanças positivas no seu ambiente familiar. Deste ponto em diante, as mudanças se expandirão em proporções cada vez maiores. Tudo o que fazemos produz efeito, causa algum impacto.”

Dalai Lama.

RESUMO

MENDES, L. C. C. Alterações na produtividade do milho, desempenho animal e lucratividade de sistemas integrados pela presença de árvores, doses de nitrogênio e estratégia de adubação. Orientadora: Laíse da Silveira Pontes. Ponta Grossa, 2024. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2024.

É crescente a pressão social e política em prol da conservação dos ecossistemas naturais, em paralelo ao incremento da urbanização. Consequentemente, espera-se que aumente o consumo por matérias-primas vegetais e animais, estimulando, ao mesmo tempo, a intensificação do uso da terra. Dentre as práticas que podem contribuir para que tal intensificação ocorra de forma sustentável, destacam-se os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), a adoção do sistema de plantio direto (SPD) e a utilização da adubação de sistema vinculada a ciclagem de nutrientes. Um dos benefícios de tais práticas é a redução na dependência por insumos externos. Em SIPA, a adubação com fósforo (P) e potássio (K) somente durante o inverno, no período com pastagem, não compromete a produção de grãos no verão. Entretanto, poucos estudos consideram essa antecipação da adubação com NPK com milho em sucessão e em distintos SIPA. O objetivo do presente estudo foi analisar o efeito da presença de árvores de *Eucalyptus grandis*, duas doses de adubação nitrogenada na pastagem de inverno e da adubação de sistema sobre a produtividade de grãos de milho, desempenho animal, no ano agrícola de 2022/2023, e a lucratividade de distintos SIPA. O presente estudo foi conduzido na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-Emater (IDR - Paraná). A área foi dividida em 12 unidades experimentais, sendo seis arborizadas. O delineamento experimental era de blocos casualizados, com três repetições, em arranjo fatorial de 2 x 2 no inverno, isto é, duas doses de N (50 e 150 kg N ha⁻¹, aplicados em cobertura no pasto) e dois sistemas (ILP, integração lavoura-pecuária x ILPF, integração lavoura-pecuária-floresta). A pastagem de inverno era composta por aveia-preta (IPR 61) + azevém (BRS Ponteio). O pastejo foi realizado por novilhas da raça Purunã, com idade média inicial de 15 meses, utilizando-se o método de lotação contínua com carga variável para manutenção da altura média do pasto em torno de 25 cm. Na fase com lavoura de milho (híbrido 2401 PWU), subparcelas foram implantadas em cada unidade experimental, para avaliar sem vs. com 350 kg ha⁻¹ de NPK 10-20-20 (35 kg N ha⁻¹, 70 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 70 kg K₂O ha⁻¹) como adubação de base e em subsubparcelas duas doses de adubação nitrogenada (0 e 150 kg N ha⁻¹ em cobertura). Não foram observadas diferenças significativas entre os fatores estudados para a altura do pasto (24,4 ± 0,64 cm), bem como no ganho médio diário (0,843 ± 0,04 kg/animal/dia). Diferenças significativas (P<0,05) entre sistemas foram observadas na carga animal (905 ± 72,3 kg PV ha⁻¹ no ILP e 710 ± 61,1 kg PV ha⁻¹ no sistema de ILPF) e no ganho de peso vivo (PV) animal por área, sendo que o ILP apresentou 3,8 ± 0,4 kg de PV/ha/dia e o ILPF 3,0 kg de PV/ha/dia. Diferenças significativas entre doses de nitrogênio foram observadas para o ganho de PV por área total, sendo superior (403,6 ± 23,7 kg PV ha⁻¹) na dose de 150 kg N ha⁻¹ do que na de 50 kg de N ha⁻¹ (283,6 ± 26,6 kg PV ha⁻¹), em 94 dias de pastejo. O ILPF apresentou maior proporção de folhas (26,3 ± 1,5 % de folhas) do que no ILP (23,53 ± 2,1 % de folhas). Não foi observada resposta, em termos de produtividade de milho, ao aumento da dose de N na fase de pastagem e à posterior adubação nitrogenada em cobertura na fase de cultivo com

milho. Interação significativa entre sistemas e adubação de base foi observada, com maiores valores de produção no ILP com adubação de base ($10.050 \text{ kg ha}^{-1}$), sem diferenças significativas entre os demais tratamentos (7.504 kg ha^{-1}). O atraso na semeadura do milho pode ter influenciado tais resultados. Em relação a análise econômica, o tratamento mais lucrativo ($\text{US\$ } 152 \pm 125,8 \text{ ha}^{-1}$) foi o ILP com dose de 350 kg de NPK como adubação de base no milho. No presente estudo, o sombreamento e/ou competição com as árvores por água e nutrientes, aliado ao rápido crescimento do eucalipto, impactou diretamente a produtividade e o lucro final, pois o sistema de ILPF apresentou prejuízo neste ano agrícola, variando entre $\text{US\$ } -292 \pm 84,9 \text{ ha}^{-1}$ (sem adubação de base) e $\text{US\$ } -524 \pm 59,3 \text{ ha}^{-1}$ (com adubação de base). As maiores doses de N (ou seja, 150 kg ha^{-1}) utilizadas não refletiram em maior lucro e produtividade, tanto no pasto, como em cobertura no milho. Assim, o desafio consiste em equilibrar a competição entre as árvores e as culturas associadas no sistema ILPF, garantindo níveis sustentáveis de rendimento.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; Integração Lavoura-Pecuária; Rentabilidade; *Eucalyptus grandis*

ABSTRACT

MENDES, L. C. C. **Changes in corn productivity, animal performance and profitability of integrated systems due to the presence of trees, nitrogen doses and fertilization strategy.** Advisor: Laíse da Silveira Pontes. Ponta Grossa, 2024. Dissertation (Master's in Animal Science) – Postgraduate Program in Animal Science, State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2024.

There is growing social and political pressure in favor of the conservation of natural ecosystems, in parallel with the increase in urbanization. Consequently, consumption of plant and animal raw materials is expected to increase, stimulating, at the same time, the intensification of land use. Among the practices that can contribute to such intensification occurring in a sustainable manner, the most notable are integrated agricultural production systems (ICLS), the adoption of the direct planting system (SPD) and the use of system fertilization linked to nutrient cycling. One of the benefits of such practices is the reduction in dependence on external inputs. In ICLS, when using phosphorus (P) and potassium (K) as a fertilization strategy during winter pasture periods, they do not compromise grain production in the summer. However, few studies consider this NPK fertilization strategy in corn and in different ICLS. The objective of the present study was to analyze the effect of the presence of *Eucalyptus grandis* trees, two doses of nitrogen fertilization in winter pasture and system fertilization on corn grain productivity, animal performance, in the agricultural year 2022/2023, and the profitability of different ICLS. The present study was conducted at the Fazenda Modelo Research Station of the Rural Development Institute of Paraná IAPAR-Emater (IDR - Paraná). The area was divided into 12 experimental units, six of which were wooded. The experimental design was randomized blocks, with three replications, in a 2 x 2 factorial arrangement in winter, that is, two doses of N (50 and 150 kg N ha⁻¹, applied as cover in the pasture) and two systems (CL, crop-livestock only x CLT, crop-livestock with trees). The winter pasture was composed of black oat (IPR 61) + ryegrass (BRS Ponteio). Grazing was carried out by Purunã breed heifers, with an initial average age of 15 months, using the continuous stocking method with variable stocking rate to maintain the average pasture height of around 25 cm. In the corn crop phase (hybrid 2401 PWU), subplots were implemented in each experimental unit to evaluate without vs. with 350 kg ha⁻¹ of NPK (10-20-20, i.e., 35 kg N ha⁻¹, 70 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 70 kg K₂O ha⁻¹) as base fertilizer and in sub-subplots two doses of nitrogen fertilizer (0 and 150 kg N ha⁻¹ in coverage). No significant differences were observed between the factors studied for pasture height (24.4 ± 0.64 cm) and for average daily gain (0.843 ± 0.04 kg/animal/day). Significant differences (P>0.05) between systems were observed in stocking rate (905 ± 72.3 kg LW ha⁻¹ in the CL and 710 ± 61.1 kg LW ha⁻¹ in the CLT system) and in live weight gain (LW) per area, with the CLT presenting 3.8 ± 0.4 kg of LW ha⁻¹ day⁻¹ and the CLT 3.0 kg of LW ha⁻¹ day⁻¹. Significant differences between nitrogen doses were observed for the total LW gain per area, being higher (403.6 ± 23.7 kg LW ha⁻¹) at a dose of 150 kg N ha⁻¹ than at a dose of 50 kg N ha⁻¹ (283.6 ± 26.6 kg LW ha⁻¹), in 94 days of grazing. The CLT had a higher proportion of leaves (26.3 ± 1.5% of leaves) than the CL (23.53 ± 2.1% of leaves). No response was observed in terms of corn productivity to the increase in N dose in the pasture phase and subsequent nitrogen fertilization in top dressing in the corn cultivation phase. A significant interaction between systems and base fertilizer was observed, with higher production values in the CL with base fertilizer (10050 kg ha⁻¹), without significant differences between the other treatments (7504 kg ha⁻¹). The delay in sowing corn may have influenced these results. Regarding economic analysis, the most profitable treatment (US\$ 152 ± 125,8 ha⁻¹) was CL with a dose of 350 kg of NPK as base

fertilizer on corn. In the present study, shading and/or competition with trees for water and nutrients, combined with the rapid growth of eucalyptus, directly impacted productivity and final profit, as the CLT system presented losses in this agricultural year, ranging between US\$ $-292 \pm 84.9 \text{ ha}^{-1}$ (without NPK) e US\$ $-524 \pm 59,3 \text{ ha}^{-1}$ (with NPK). The highest doses of N (i.e., 150 kg ha^{-1}) used did not result in greater profit and productivity, both in pasture and in corn coverage. Therefore, the challenge is to balance competition between trees and associated crops in the CLT system, ensuring sustainable levels of yield.

Keywords: Sustainable Agriculture; Integrated Crop-Livestock-Forest system; Integrated Crop-Livestock system; Profitability; *Eucalyptus grandis*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Croqui da área experimental localizada na estação de pesquisa fazenda modelo, município de ponta grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.37
- Figura 2.** Posições de avaliação entre dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques) no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Foto realizada após a implantação da cultura de milho, safra 2022/2023..... 38
- Figura 3.** Vista aérea da área experimental localizada na estação de pesquisa fazenda modelo em ponta grossa. Sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) em vermelho e sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) com componente arbóreo (*E. grandis* de 3 anos com espaçamento de 14 x 3 m), na cor verde. Na pastagem de inverno, quatro tratamentos foram avaliados resultantes do cruzamento de dois fatores, ou seja, presença (parcelas 4, 5, 6, 7, 9 e 10) vs. Ausência de árvores (parcelas 1, 2, 3, 8, 11 e 12) e duas doses de nitrogênio (as parcelas 2, 4, 6, 8 e 10 foram adubadas com 50 kg de N ha⁻¹ e as parcelas 1, 3, 5, 7 e 9 com 150 kg de N ha⁻¹). As subparcelas indicam sem (números em azul de 1 a 12) e com 350 kg ha⁻¹ de NPK (de 13 a 24) como adubação de base na formulação 10-20-20. As subsubparcelas (9 x 14 m) indicam duas doses de N em cobertura no milho: zero x 150 kg de N ha⁻¹ (N0 e N150, respectivamente).40
- Figura 4.** Croqui da área experimental localizada na estação de pesquisa fazenda modelo, município de ponta grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio. 58
- Figura 5.** Custos por área (US\$/ha) observados em relação aos tratamentos nos sistemas ILP e ILPF sob duas doses aplicadas na pastagem, isto é, 50 kg de N ha⁻¹ e 150 kg de N ha⁻¹ 65
- Figura 6.** Croqui da área experimental localizada na estação de pesquisa fazenda modelo, município de ponta grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio..... 74
- Figura 7.** Posições de avaliação entre dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques) no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Foto realizada após a implantação das culturas de aveia preta (*Avena strigosa* schreb. Cv. Ipr 61) e azevém (*Lolium multiflorum* lam. Brs-ponteio) durante o inverno de 2023. 75

Figura 8. Redução da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em cada posição entre os renques arbóreos no sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em diferentes turnos, isto é, manhã (entre 09:03 e 11:13h) e tarde (entre 13:03 e 14:53 h). P1 e P5, posições adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, posição central entre dois renques. 78

Figura 9. Variações de altura da pastagem dos quatro tratamentos ao longo de Todo o experimento..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período experimental e média histórica (1997-2023) da cidade de Ponta Grossa, Paraná.....	36
Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para as concentrações de nitrogênio (N), Fósforo (P) e potássio (K) para a cultura do milho coletadas na fase V4, no dia 9 de janeiro de 2023.....	44
Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis da cultura do milho: número de dias até a emergência (NDE), índice de velocidade de emergência (IVE), altura de plantas, peso de 1.000 grãos, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, índice de colheita e produtividade.....	45
Tabela 4. Médias ($\pm$ erro padrão) das interações para a variável número de grãos por fileiras sob duas doses de adubação nitrogenada na pastagem (50 kg de N ha ⁻¹ x 150 kg de N ha ⁻¹ , N50 e N150, respectivamente), dois níveis de adubação de base N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (zero x 350 kg ha ⁻¹) e com duas doses de N em cobertura (zero x 150 kg de N ha ⁻¹).....	46
Tabela 5. Médias ($\pm$ erro padrão) da produtividade do milho (kg ha ⁻¹) em dois sistemas integrados, lavoura-pecuária somente (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e dois níveis de adubação de base com N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (zero x 350 kg ha ⁻¹) na formulação 10-20- 20.....	47
Tabela 6. Dados de precipitação pluviométrica (P) e temperatura (T) média durante o período experimental dos anos de 2022 e 2023, da cidade de Ponta Grossa, Paraná.....	57
Tabela 7. Resultado das análises de variância para as variáveis econômicas do ano agrícola 2022 e 2023.	62
Tabela 8 - Médias ($\pm$ desvio padrão), para cada sistema, das variáveis econômicas obtidas em 2022/2023	62
Tabela 9 - Médias ($\pm$ desvio padrão) para variável receita referente a interação entre sistemas (ILP x ILPF), doses de N aplicadas na pastagem (50 ou 150 kg de N ha ⁻¹) e adubação de base no milho (zero x 350 kg de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ha ⁻¹), obtidas no ano agrícola de 2022/2023.....	63
Tabela 10 - Médias ($\pm$ desvio padrão) do lucro para a interação entre sistemas (ILP x ILPF), doses de N aplicadas na pastagem (zero e 150 kg de N ha ⁻¹) e adubação de base no milho (zero x 350 kg de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ha ⁻¹).	64
Tabela 11. Dados de precipitação pluviométrica (P), temperatura (T) e média histórica (1997-2023), durante o período experimental do ano de 2023, da cidade de Ponta Grossa, Paraná	74
Tabela 12 - Resultado das análises de variância para as variáveis da pastagem e desempenho animal. Efeito de sistemas ILP (integração lavoura-pecuária) x ILPF (integração lavoura-pecuária-floresta) e doses de nitrogênio (50 x 150 kg N/ha) e as respectivas interações entre tais fatores.....	79

Tabela 13 – Médias ($\pm$ desvio padrão) das variáveis relacionadas ao período de pastejo que sofreram efeito dos sistemas.....	81
--	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1.1 INTRODUÇÃO.....	16
1.2 PANORAMA GERAL SOBRE A SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIOS	18
1.3 IMPACTO DA PRESENÇA DE ÁRVORES EM SIPA.....	22
1.4 EFEITO DA PRESENÇA DOS ANIMAIS EM PASTEJO.....	22
1.5 ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO DE SISTEMAS COMO FERRAMENTA PARA O USO SUSTENTÁVEL DE FERTILIZANTES.....	23
1.6 OBJETIVO GERAL	26
1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1.8 HIPÓTESES	27
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE DO MILHO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: EFEITO DAS ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO DE SISTEMA.....	33
2.1 INTRODUÇÃO.....	33
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.2.1 Descrição do local	35
2.3 COLETA DE DADOS.....	41
2.3.1 Avaliações de emergência.....	41
2.3.2 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA).....	41
2.3.3 Avaliação de área-útil.....	42
2.3.4 Determinação das concentrações de N, P e K.....	42
2.3.5 Avaliações dos componentes de rendimento do milho.....	42
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
2.5 RESULTADOS	43
2.6 DISCUSSÃO	47
2.7 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO 3 – EFEITO DAS ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ADUBA- ÇÃO NA LUCRATIVIDADE DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	54
3.1 INTRODUÇÃO.....	54
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.2.1 Descrição do local	57
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	59
3.2.3 Produção animal.....	59
3.2.4 Produtividade do milho	60
3.3 ANÁLISE ECONÔMICA	60
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61
3.5 RESULTADOS	61
3.6 DISCUSSÃO.....	65
3.7 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	67

CAPÍTULO 4 – IMPACTO DA PRESENÇA DE ÁRVORES E DE DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO DE ANIMAIS SOB PASTEJO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODU- ÇÃO AGROPECUÁRIA	71
4.1 INTRODUÇÃO.....	71
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	73
4.2.1 Descrição do local	73
4.3 COLETA DE DADOS.....	76
4.3.1 Ganho de peso médio diário, ganho de peso vivo por hectare e carga animal.....	76
4.3.2 Componentes produtivos da pastagem.....	76
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	77
4.5 RESULTADOS	78
4.6 DISCUSSÃO.....	81
4.7 CONCLUSÃO.....	83
4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS	84

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 INTRODUÇÃO

A necessidade global por água, alimentos e energia tem aumentado significativamente a cada ano. A EMBRAPA projeta aumento de 40% na demanda global por energia, um acréscimo de 50% na demanda por água e uma expansão de 35% na produção de alimentos até 2030. Nesse contexto, a agricultura brasileira desempenha um papel central para atender a essas demandas em constante crescimento. A disponibilidade de recursos naturais, políticas públicas, conhecimento técnico-científico e empenho dos produtores brasileiros serão fatores-chave para o alcance desses objetivos e desenvolvimento agrícola do país (EMBRAPA, 2018).

A eficiência e a sustentabilidade da agricultura brasileira estão cada vez mais fortalecidas e contínuas. Fato é, nas últimas décadas, se obteve um expressivo aumento de produtividade das culturas, sem aumento significativo das áreas cultivadas. Na safra 2023/2024, por exemplo, a área cultivada foi de 78,53 milhões de hectares, resultando em uma produção total de 294,1 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Dentre as ações fomentadoras para o estabelecimento de uma agropecuária nacional mais sustentável, resiliente, capaz de controlar suas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), e que garanta a oferta de alimentos, grãos, fibras e bioenergia, em quantidade e qualidade, com conservação dos recursos naturais, mesmo diante da crescente incerteza climática, destaca-se o Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – ABC+ (MAPA, 2023). Tal plano é fundamentado em diversas tecnologias, como a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD), que considera, além da recuperação, a renovação de pastagens com algum grau de degradação, do Manejo de Resíduos da Produção Animal (MRPA), considerando outros substratos, além dos dejetos animais. A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), agora Bioinsumos (BI), que inclui também Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas (MPCP) e multifuncionais. Os sistemas de integração, ILP (Integração Lavoura-Pecuária) e ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), com destaque aos Sistemas Agroflorestais, tratando-o separadamente da ILPF (MAPA, 2023).

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), conforme Carvalho et al. (2014), são programados para aproveitar os efeitos sinérgicos resultantes das relações e interações entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera. Tais sistemas são aplicados em áreas que englobam, simultaneamente, diversas atividades agrícolas, como a produção de grãos, madeira e carne/leite, em diferentes escalas espaço-temporais, conforme abordado por

Moraes et al. (2014) e Carvalho et al. (2018). Portanto, os SIPA são capazes de incrementar a resiliência ambiental, pelo aumento da diversidade biológica e pela efetiva e eficiente ciclagem de nutrientes (Carvalho et al., 2010a). Consequentemente, tem-se melhoria da qualidade do solo e oferecimento de serviços ecossistêmicos e mitigação das mudanças climáticas (Assmann et al., 2008).

O uso de SIPA arborizados, torna-se uma alternativa interessante do ponto de vista ecológico e do bem-estar animal, pois constitui em importante estratégia para a recuperação de áreas degradadas, reciclagem de carbono, diversificação da renda, melhoria do ambiente e conforto térmico animal (Bernardino et al., 2009). Com a crescente demanda por fertilizantes, há uma preocupação gradativa com a disponibilidade limitada de fertilizantes minerados e o potencial de contaminação dos corpos d'água (Farias et al., 2020). Os SIPA têm como pilares o uso da agricultura conservacionista, pelo uso da semeadura direta, cobertura permanente do solo, rotação e diversificação de cultivos. A presença de animais em pastejo altera a ciclagem de nutrientes, desfolha e deposição de dejetos que interagem e conferem novas propriedades ao sistema (Anghinoni et al., 2013). Diante disso, os SIPA entram com processos fundamentais para diminuir a entrada de fertilizante, pois consideram a dinâmica da ciclagem dos nutrientes, aliado aos aumentos nos estoques de carbono e nitrogênio (Farias et al., 2020).

Nos SIPA, os nutrientes necessários para o crescimento das plantas são fornecidos por diferentes meios: (i) adubação via fertilizantes minerais e orgânicos; (ii) resíduos vegetais (Assmann et al., 2008; Assmann et al., 2014; Carvalho et al., 2010a); (iii) deposição atmosférica (Assmann et al., 2008; Dubeux Jr et al., 2007); e (iv) excrementos animais (Dubeux JR et al., 2007).

A ciclagem de nutrientes pode ser definida como o fluxo de nutrientes entre os distintos componentes do ecossistema (Dubeux JR et al., 2007). Entende-se como nutriente, todo elemento considerado essencial para o desenvolvimento do sistema de produção. O conhecimento da necessidade de nutrientes pelas plantas é fundamental para o uso adequado de fertilizantes na produção das culturas.

A adubação de sistemas (em inglês *system-level fertilization*) (Bernardon et al., 2020) tem como base a ciclagem de nutrientes entre as fases de um sistema em rotação, buscando a maximização e otimização no uso dos nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e contaminações ambientais, bem como mantendo a fertilidade do solo em um longo prazo (Assmann et al., 2018).

Esse conceito quebra um paradigma de que a fertilização deve ser feita especificamente para a cultura, que na maioria das vezes é a de grãos. A adubação de sistemas considera todas

as culturas do sistema de rotação (pastagens e culturas agrícolas), em um esquema de transferência de nutrientes entre os cultivos, sendo essas de forma diretamente, com uso de formulados ou indiretamente de forma orgânica via ciclagem de nutrientes e mineralização (Assmann et al., 2017).

No sul do Brasil, tem-se confirmado o efeito residual de adubação de pastagens de inverno para as culturas de grãos cultivadas em sequência, inclusive com a possibilidade de omissão de adubação nitrogenada, potássica e fosfórica para a cultura de grãos sucessora (Assmann et al., 2003; Sandini et al., 2011; Sartor et al., 2014; Assmann et al., 2017; Sartor et al., 2018; Farias et al., 2020; Bernardon, 2021; Maccari et al., 2021; Kagimura, 2022).

O nitrogênio (N) é o nutriente envolvido diretamente com o crescimento vegetativo das plantas. Relações lineares têm sido apontadas pela literatura entre a taxa de crescimento das culturas e a concentração desse elemento na planta (Ingestad; Ågren, 1992; Verkroost; Wassen, 2005) sendo essas, a base teórica para os conceitos sobre a eficiência de uso do N. Decorre dessa teoria a ideia de uma concentração crítica nas plantas, necessária para maximizar o crescimento e a produtividade (Lemaire, 1997).

Dessa maneira, o manejo ideal do N é aquele capaz de ajustar as doses de adubação de acordo com a produção de matéria seca da cultura nas diferentes épocas e fases do seu ciclo de crescimento e desenvolvimento (Fogaça et al., 2008).

1.2 PANORAMA GERAL SOBRE A SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIOS

As últimas projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) indicam que a população mundial deve chegar em 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050. A estimativa é de que a população atinja um pico de cerca de 10,4 bilhões de pessoas durante a década de 2080 e permaneça neste nível até 2100 (ONU, 2022). Em decorrência disso, espera-se que a demanda global impulse o consumo por matérias-primas vegetais e animais, estimulando, ao mesmo tempo, a intensificação do uso da terra.

Aliado a isso, o consumo mundial de proteína de origem animal aumentou de forma acelerada nas últimas décadas. De acordo com Mottet et al. (2017) espera-se que a demanda global por carne e leite aumente 57% e 48%, respectivamente, entre 2005 e 2050. E, para fazer frente a essa crescente demanda mundial, é previsto que o Brasil, atualmente o maior exportador mundial de carne bovina, continue a se destacar como um grande fornecedor dessa *commodity* para o mundo.

Com isso, a produção de bovinos a pasto deverá desempenhar papel fundamental, pois no Brasil a base alimentar da maioria do rebanho bovino são as plantas forrageiras, colhidas pelo próprio animal, em sistema de pastejo (Ferraz; Felício, 2010), garantindo, assim, um dos menores custos de produção de carne do mundo (Carvalho et al., 2009; deblitz, 2010; Ferraz; Felício, 2010); e um produto de qualidade nutricional elevada (Daley et al., 2010) e de crescente apelo mercadológico, o chamado “boi verde” ou “boi capim”.

Dentro do presente contexto, há uma crescente pressão social e política em prol da conservação dos ecossistemas naturais, em paralelo ao incremento da urbanização. Esses fatores representaram barreiras para a expansão das fronteiras agrícolas, pois com o aumento da área, aumenta-se a produção e, conseqüentemente, a produção de alimentos, fibras e energia por unidade de área e insumo (Lemaire et al., 2015). Assim sendo, é necessário a reformulação dos agrossistemas comerciais especializados, caracterizados pelo elevado uso de recursos não renováveis, com enfoque na sustentabilidade (Lemaire et al., 2023).

Portanto, é necessário a adoção de estratégias de produção sustentáveis que integre atividades agrícolas, pecuárias e florestais, em uma mesma área, seja sob a forma de cultivo em sucessão ou em rotação. Tais estratégias incluem sistemas produtivos diversificados para a produção de alimentos, fibras e energia, de forma a otimizar os ciclos biológicos das plantas e dos animais, bem como dos insumos e seus respectivos resíduos. Dentre as estratégias de intensificação sustentável de uso da terra, via diversificação, destacam-se os SIPA, como os sistemas ILPF e ILP.

Na região subtropical do Brasil, o enfoque principal é a rotação e a diversificação de culturas, como alternativa de renda e utilização da terra nos períodos entre as lavouras de verão. Nesta região é comum a utilização de culturas para cobertura do solo durante o período de inverno, fundamentais para a ciclagem nesses sistemas de produção (Moraes et al., 2014), mas que sem pastejo não irão gerar renda ao produtor.

No subtropico brasileiro, cerca de 13 milhões de hectares são cultivados com culturas de verão, como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e arroz (*Oryza sativa*) (Moraes et al., 2014). Dentre as espécies cultivadas durante todo o inverno, destacam-se o trigo (*Triticum aestivum*), aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) cevada (*Hordeum vulgare*), azevém (*Lolium multiflorum*), tritcale (*X tritico-secale*) e centeio (*Secale cereale*). A área cultivada no inverno corresponde a cerca de 4,4 milhões de hectares, ou seja, a 1/3 da área com culturas de verão (Moraes et al., 2014).

O restante da área, 9,0 milhões de hectares, fica praticamente sem renda durante o inverno, com áreas de solo descoberto ou simplesmente com culturas de cobertura, quase

sempre por plantas forrageiras, no exato período em que falta alimento para toda a pecuária no Sul do Brasil, principalmente nas que são baseadas em pastagens naturais ou cultivadas de ciclo estival (Moraes et al., 2014).

Com isso, uma grande área permanece em pousio durante o período hibernar, que são ou podem ser grandes fontes de perda de nutrientes, seja por volatilização, lixiviação, desnitrificação e escoamento superficial (Assmann, 2013). Não há justificativas, no contexto econômico e social, que vivemos atualmente, para que essas áreas não produzam riqueza e empregos ao longo de todo ano (Moraes et al., 2014).

Há espécies forrageiras anuais de inverno que são adaptadas às condições climáticas da estação, apresentando rendimento e qualidade adequados (Assmann et al., 2004), como é o caso da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), aveia branca (*Avena sativa* L.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.).

A formação dessas pastagens hibernais de azevém e aveia torna viável a terminação de bovinos, durante a entressafra, e surge como alternativa para melhorar os índices zootécnicos da atividade pecuária na região subtropical do Brasil como: aumento da natalidade, redução da mortalidade, redução da idade de abate e do primeiro acasalamento e aumento do desfrute. Tudo isso sem comprometer a necessidade de palhada para o Sistema de Plantio Direto (SPD), sendo necessário apenas os ajustes de lotação e podendo incrementar a rentabilidade num período em que, muitas vezes, nada se produz (Moraes et al., 2014).

Entretanto, para que haja uma pecuária eficiente durante todo o ano, necessita-se de áreas com pastagens perenes de verão que, associadas com pastagens anuais de inverno, as quais compõem um sistema pastoril, seja capaz de suprir a forragem continuamente aos animais. Essa composição, na propriedade, permite manter carga animal constante e obter receita de áreas menos aptas às culturas comerciais (Moraes et al., 2002).

Por conta disso, o uso de SIPA vem como uma alternativa viável para recuperar e desenvolver novas pastagens de gramíneas e/ou em consórcio com leguminosas, em regiões de pecuária de corte/leite, de forma sustentável. Entre os benefícios para os componentes do sistema solo-planta-animal, destacam-se a conservação do solo e da água, a possibilidade de melhoria das condições físicas, químicas e da atividade biológica na superfície do solo e, no caso de SIPA arborizado, o conforto térmico para os animais (Jackson & Ash, 1998; Wilson, 1998; Leme et al., 2005).

Por exemplo, os sistemas arborizados apresentam potencial para aumentar e diversificar a oferta de forragem ao longo do ano, reduzir os danos causados por geadas e reduzir os extremos climáticos, que causam desconforto e prejudicam a produtividade e o desempenho

reprodutivo dos animais, configurando assim melhorias no ambiente produtivo (Lin et al., 2001; Paciullo et al., 2007; Souza et al., 2010).

Em tais sistemas, os fatores ambientais modificados pela presença das árvores, particularmente a redução da radiação solar, tem efeito sobre as características morfofisiológicas das pastagens e, conseqüentemente, sobre a produção e o valor nutritivo da forragem (Carvalho et al., 2013). Tais características, por sua vez, tem reflexo no desempenho animal individual, ou na produtividade do componente pecuário no sistema (Barro et al., 2012). Portanto, se bem manejado, o SIPA pode favorecer tanto a pecuária quanto a agricultura, por exemplo, se há a inclusão animal no sistema, este atuará como catalizador acelerando o rebrote de plantas e ciclagem de nutrientes (Assmann et al., 2003; 2004). Anghinoni et al. (2017) comentam que o fluxo de nutrientes ocorre entre os compartimentos do sistema, onde as plantas de cobertura ou para pastejo absorvem nutrientes do solo e os incorporam em sua biomassa. A disponibilização dos nutrientes ocorre através das excretas dos animais ou através da própria decomposição do material vegetal, podendo ser utilizado pela próxima cultura, pelos microrganismos do solo e para a formação da matéria orgânica do solo. Com o entendimento dos fatores e dos processos que controlam a ciclagem de nutrientes, é possível sincronizar a sua disponibilização com a demanda da cultura sucessora (Ferreira et al., 2011).

Surge, portanto, o conceito de adubação de sistemas, que é baseado na ciclagem de nutrientes entre as fases de rotação em um sistema produtivo e na eficiência no uso de nutrientes (Assmann et al., 2017). Tal estratégia leva em conta todas as culturas envolvidas no sistema de rotação, como, culturas agrícolas, pastagens ou coberturas de solo na composição do fluxo de nutrientes (Assmann et al., 2018).

A consequência é um melhor aproveitamento dos nutrientes que circulam e que estão disponíveis dentro do sistema de produção. Para Pitta et al. (2012), o maior conhecimento sobre a dinâmica da matéria seca e dos nutrientes são importantes, pois interferem diretamente nas recomendações de fertilizantes para culturas subsequentes.

Atualmente, é grande a preocupação com as perdas envolvendo a aplicação de altas quantidades de fertilizantes em uma única fase/tipo de produção, gerando perdas de nutrientes, seja por lixiviação, erosão ou volatilização. Assim, ainda que haja comprovação dos efeitos positivos com a aplicação das adubações sobre a produtividade das culturas, ainda é necessário o conhecimento sobre o atendimento das reais necessidades nutricionais da cultura com a possibilidade de ajustes no mesmo cultivo.

1.3 IMPACTO DA PRESENÇA DE ÁRVORES EM SIPA

Os SIPA são particularmente importantes no Brasil, porque muitas pastagens estão degradadas (Silva et al., 2017). Tais sistemas podem viabilizar a produção de grãos, carne e madeira (Franchini et al., 2014) como, por exemplo, promoção da conservação e maior qualidade do solo, graças às melhorias dos seus atributos físicos, químicos e biológicos, aumento da ciclagem de nutrientes, além de melhor conforto térmico e bem-estar animal (Carvalho et al., 2010a). Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), grevilea (*Grevillea robusta*) e pinus (*Pinus* spp.) estão entre as espécies arbóreas mais utilizadas para implantação da integração lavoura-pecuária-floresta (Paciullo et al., 2007; Porfírio -da-Silva et al., 2010).

Em sistemas naturais, o componente arbóreo promove aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes no solo (Xavier; Carvalho; Alvim, 2003). Assim, as árvores podem aproveitar nutrientes de camadas mais profundas do solo e através da ciclagem biogeoquímica, tornam esses nutrientes disponíveis nas camadas superficiais (Karam et al., 2013), proporcionando melhoria na fertilidade do solo (Xavier; Carvalho; Alvim, 2003).

O componente arbóreo influencia a ciclagem dos nutrientes no sistema, pois o sistema radicular das árvores explora camadas de solo mais profundas (Assmann et al., 2014). Tais nutrientes, que são extraídos do solo, retornam para a superfície do solo por meio dos resíduos vegetais, fornecendo nutrientes, de uma maneira mais econômica, e afetando a produção forrageira em associação. Sistemas integrados, com componente arbóreo no subtrópico brasileiro, mostram que a qualidade residual aumenta no sistema devido ao aumento da concentração de nutrientes (Carpinelli, 2017). Além disso, as árvores podem reduzir a entrada de adubos químicos, reduzindo o custo de produção (Pontes et al., 2021).

A introdução do componente arbóreo pode alterar as características morfológicas das culturas associadas, bem como a quantidade e a qualidade da palhada remanescente (Carpinelli, 2017). Além disso, a presença do componente arbóreo promove alterações nas variáveis microclimáticas que podem afetar a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais (Karam et al., 2013).

1.4 EFEITO DA PRESENÇA DOS ANIMAIS EM PASTEJO

Os animais são responsáveis pela aceleração da ciclagem de nutrientes em SIPA (Dubeux JR et al., 2007), pois eles são responsáveis por vias de ciclagem e nutrientes que são fundamentais no funcionamento do SIPA. O aumento da produção de massa de forragem no período de inverno permite que a pastagem suporte um número maior de animais,

consequentemente, proporcionando resíduo em quantidade e qualidade suficientes para o sistema de plantio direto, aumentando assim o conteúdo de matéria orgânica do solo, gerando melhoria na fertilidade do solo, privilegiando-se o sistema de produção como um todo (Carvalho et al., 2010a).

Carpinelli et al. (2020), sob sistemas de ILP e ILPF, observaram quantidades médias de liberação de nutrientes pelas fezes dos animais em pastejo de 3 kg de N ha⁻¹, 1,05 kg de P ha⁻¹ e 3 kg de K ha⁻¹ no sistema ILP, durante o período de inverno. Tais autores também observaram que as árvores no ILPF afetam a distribuição do esterco do gado, bem como a ciclagem de nutrientes e o rendimento das culturas. Tal resultado ocorre pela ampliação de áreas de interesse, isto é, sob a sombra das árvores, contribuindo para uma maior uniformidade na distribuição espacial das excretas quando as árvores estão bem distribuídas em toda a parcela (Carpinelli et al., 2020b).

Já Assmann et al. (2017) encontraram valores de 10,5 kg de P ha⁻¹ e 16 kg de K ha⁻¹ a partir da liberação de fezes de animais sob pastejo em sistema de ILP. Todas as quantidades de nutrientes provenientes dos dejetos têm um impacto direto na produtividade das culturas, devendo, portanto, serem consideradas nas recomendações de adubação (Kagimura, 2022).

Atualmente, atribui-se grande importância à compreensão dos fatores que controlam a ciclagem de nutrientes, pois isso pode possibilitar a sincronização da disponibilização desses nutrientes para a cultura subsequente (Kagimura, 2022).

A combinação de diferentes componentes em uma mesma área, como ocorre nos SIPA, demanda investigação de questões técnicas e econômicas. A presença de árvores no sistema influencia a estrutura da pastagem, afetando a desfolha realizada pelo animal (Trindade et al., 2018b). Isso ocorre porque os herbívoros, ao selecionarem a planta, preferem ingerir primeiramente as folhas, recorrendo aos colmos apenas na ausência destas. Essa preferência resulta em alterações na composição e nos padrões de crescimento da planta, impactando a dinâmica do pasto, a fertilidade do solo e o desempenho dos animais.

Dado o caráter sustentável dessa técnica na produção de alimentos, torna-se essencial estudar os SIPA para compreender a interação dos componentes do sistema e otimizar o uso da terra e sua rentabilidade.

1.5 ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO DE SISTEMAS COMO FERRAMENTA PARA O USO SUSTENTÁVEL DE FERTILIZANTES

O conceito de “Adubação de Sistemas” tem como base a ciclagem biológica de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação buscando a máxima eficiência de uso de

nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade do solo a longo prazo (Assmann et al., 2017). Assim, na prática, consiste em uma nova abordagem de fertilização, na qual é baseada na estrutura conceitual de que o fertilizante deve ser aplicado na fase do sistema que apresenta menor extração de nutrientes e maior oportunidade para a ciclagem de nutrientes, visando otimizar a produção total do sistema (Assmann et al. 2017).

Esta abordagem contrasta com o paradigma de fertilização especificamente para uma cultura, a qual na maioria das vezes é feita para a cultura de grãos (Farias et al., 2020). Atualmente, as recomendações dos fertilizantes visam atender às necessidades das culturas e aumentar os níveis de nutrientes do solo acima dos limites críticos. Conservar os nutrientes é a chave para o sucesso do agroecossistema (Sartor et al., 2018).

Desta maneira, ao utilizar o conceito de ciclagem de nutrientes aplicada com a adubação de sistemas, as sugestões de adubação e calagem se tornariam mais econômicas, eficientes e com menor impacto ao meio-ambiente (Assmann et al., 2017). Consideram-se todas as culturas envolvidas no sistema de rotação, sejam elas culturas agrícolas, pastagens ou coberturas de solo na composição do esquema de fluxo de nutrientes (Assmann et al., 2018).

Apesar de os manuais de recomendação de adubação e calagem serem considerados os mais seguros devido a sua grande utilização, salienta-se que para a elaboração deles, mesmo em edições mais recentes, não são todas as instituições que possuem experimentos que avaliam de fato quais são os nutrientes essenciais e seus níveis no solo, e ainda, respostas de doses ideais para determinadas culturas à campo, em todas as condições para o território brasileiro (Assmann et al., 2017).

O conjunto do conhecimento sobre a disponibilização de nutrientes por meio dos restos culturais ou até mesmo dos resíduos animais, ainda é extremamente necessária no que se diz a respeito às recomendações de adubação. Hoje, já se tem algum conhecimento sobre a ciclagem de nutrientes dentro dos sistemas e se sabe que as disponibilizações de nutrientes podem contribuir grandemente para a nutrição das culturas (Kagimura, 2022). Diante disso, a adubação de sistema considera a produção como um todo, em que a necessidade dos sistemas é avaliada como um todo, e não apenas com base na interpretação de tabelas de recomendação de adubação e calagem.

Com isso, por mais que se considere o efeito residual das adubações e calagens nos SIPA brasileiros, se torna mais efetivo a possibilidade de aplicação de nutrientes de forma isolada, não existindo a necessidade do uso de formulados como N, P e K em adubação de base, comumente utilizadas no plantio de culturas produtoras de grãos (Assmann et al., 2017).

Segundo Kagimura (2022), diversos trabalhos têm comprovado a eficiência da adubação de sistemas, sejam eles com ou sem a presença do animal na integração. Assmann et al. (2003) constataram previamente o impacto da ciclagem, demonstrando que é possível alcançar uma produção de 10.000 kg de grãos de milho por hectare com a aplicação de nitrogênio feita exclusivamente sobre a pastagem de aveia e azevém. Resultados de produtividade semelhantes foram obtidos quando 200 kg de nitrogênio por hectare foram aplicados na cultura do milho e 300 kg de nitrogênio na pastagem de aveia e azevém. Kagimura (2022) ressalta que, em áreas que são cultivadas sob sistemas de plantio direto, a adubação de sistemas surge como uma estratégia crucial para evitar perdas de nutrientes ou problemas de imobilização temporária. Momesso et al. (2019) utilizando a rotação braquiária – milho, observaram maior produtividade de grãos (13.800 kg de grãos ha⁻¹).

Em relação ao potássio, Foloni e Rosolem (2008), ao antecipar o potássio do milho na cultura do milheto, foi constatado que a antecipação total desse nutriente não compromete a produtividade dos grãos de milho.

Mesmo que a produtividade de grãos na cultura comercial seja uma maneira de avaliar o potencial das adubações de sistema, também é importante considerar as características nutricionais das plantas. Isso proporciona conhecimento mais abrangente do fluxo de nutrientes após a liberação pelos resíduos. Nesse sentido, uma técnica que vem ganhando importância para avaliar o status nutricional das plantas, são as curvas de diluição e índices nutricionais (e.g., Lemaire; Salette, 1984). Caso haja situações de deficiência ou excesso de nutrientes, essas condições podem ser identificadas. Além disso, é viável explorar as relações entre os nutrientes, como a relação entre fósforo e potássio em relação ao N, para compreender os teores mínimos necessários de P e K para alcançar a máxima produção.

Os estudos realizados por Maccari et al. (2021) e Bernardon et al. (2021), trazem a importância dessas curvas de diluição. Ambos conduziram estudos em ILP e empregaram a antecipação da adubação nitrogenada. Maccari et al. (2021) observaram que a adubação nitrogenada, exclusivamente aplicada sobre a pastagem de azevém, foi capaz de manter os níveis nutricionais adequados de N nas plantas de milho. Bernardon et al. (2021) observaram que a quantidade de N disponibilizada (200 kg de N ha⁻¹) pela cultura do milho, não foi suficiente para nutrir adequadamente a fase pastagem (aveia-preta e azevém). Baseado nisso, os estudos confirmam que as curvas de diluição, analisando os teores críticos de nutrientes, são uma ferramenta essencial para o diagnóstico nutricional antecipado das plantas em SIPA, contribuindo para uma compreensão ainda mais aprofundada da aplicação da adubação de sistemas.

Segundo Lima (2018), perdas muito pequenas foram observadas de amônia por volatilização quando o N ($200 \text{ kg de N ha}^{-1}$) foi aplicado no inverno (sobre a pastagem) e no verão. Essas perdas representaram apenas 1,5% do total aplicado de N no inverno e 5,37% e 4,0% no verão para as culturas de feijão e milho. Esses dados indicam a possibilidade de aplicação de fertilizantes com maior eficiência.

Em relação a perdas por erosão, Zolin et al. (2021) destacam que diversos nutrientes podem ser perdidos junto com o solo e a água. Eles mostram que locais conduzidos em SIPA ou em SPD apresentam menores perdas de solo e nutrientes, comportando-se como sistemas mais sustentáveis na agricultura.

Tully e Ryals (2017) constataram que SIPA com a presença de árvores têm uma grande capacidade de reduzir as perdas por lixiviação em comparação com sistemas convencionais de produção. Isso ocorre devido à capacidade das plantas capturarem nutrientes em camadas mais profundas do solo e trazê-los de volta à superfície. Assim, observa-se que o SPD e os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta apresentam um grande potencial de aplicação em propriedades, proporcionando melhorias significativas no solo, além de promover a sustentabilidade.

Em SIPA, diversas estratégias podem ser empregadas para antecipar a adubação nitrogenada, visando uma utilização mais eficiente desse nutriente. Nesse contexto, a aplicação de nitrogênio exclusivamente sobre a pastagem ou a palhada da pastagem surge como uma alternativa atrativa (Maccari, 2016). Essa abordagem oferece benefícios para a produção de pasto, desempenho animal, fertilidade do solo, imobilização microbiológica de nitrogênio, além de considerações econômicas.

Embora os efeitos benéficos da antecipação da adubação nitrogenada na produção das culturas estejam comprovados, ainda é essencial compreender como as reais necessidades nutricionais da cultura são atendidas, permitindo ajustes durante o mesmo ciclo de cultivo, ainda, adaptando esses novos conceitos às condições específicas e às dinâmicas de rotação de culturas nos trópicos e subtrópicos brasileiros.

1.6 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto da presença de árvores, de doses de N e da estratégia de adubação de sistemas na produtividade do milho, e no desempenho animal em sucessão ao milho, em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA).

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o impacto da Adubação de Sistemas nos componentes de rendimentos e na produtividade do milho;
- Analisar os componentes de rendimentos e a produtividade de milho, em SIPA com ou sem a presença de árvores, e com distintas doses de N no inverno;
- Avaliar o efeito de doses de nitrogênio e da presença de árvores nos componentes produtivos da pastagem e, conseqüentemente, na produção animal;
- Analisar o impacto dos tratamentos avaliados na rentabilidade econômica dos sistemas integrados;

1.8 HIPÓTESES

A hipótese do presente estudo é de que a estratégia de adubação de sistemas, isto é, com a aplicação dos nutrientes na fase pastagem, com pastejo moderado (com controle do pastejo ou da desfolha), haverá disponibilização para a cultura cultivada na sequência, utilizando-se da ciclagem de nutrientes, sem necessidade e ou/resposta à uma nova aplicação de fertilizantes na cultura de grãos em sucessão. Em razão disso, espera-se que com a antecipação da adubação nitrogenada seja uma alternativa para melhorar a rentabilidade dos SIPA, visando diluição de custos com insumos, principalmente o N, pois, é um elemento que se destaca em relação a produção forrageira conseqüentemente desempenho animal e/ou de grãos, portanto, o aumento da produção desses componentes compensa o custo com tal insumo.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p.325-380, 2013.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P.; ASSMANN, J. M.; ARNUTI, F.; BORIN, J. B. M.; CEGAGNO, D.; DENARDIN, L. G. O.; TIECHER, T.; MORAES, A. Ciclagem de nutrientes. In: Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; **Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**, 4. [S. l.]: UTFPR, 2017. p. 56-66. 2017.
- ASSMANN, T. S.; BORTOLLI, M. A.; ASSMAN, A. L.; SOARES, A. B.; PITTA, C. S. R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLIENKE, C. L.; ASSMANN, J. M. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, p. 37-42, 2014.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, J. M. Ciclagem de nutrientes In: ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; ASSMANN, T. S. Integração Lavoura - Pecuária para a agricultura familiar. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná. p.16-24. 2008.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTÉA, T.; ASSMANN, A.; MORAES, A.; ALVES, S. **Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária** (Cap. 8). In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 123-144, 2018.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. de; NICHEL, G. de H.; COSTA, S. E. V. G de A.; SILVA, R. A. P E; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. de F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2017. DOI: 10.1007/s10705-016-9818-6

ASSMANN, T.S.; RONZELLI JR., P.; MORAES, A. de.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.675-683, 2003.

ASSMANN, A. L., PELISSARI, A., MORAES, A. DE; ASSMANN, T. S. Produção de Gado de Corte e Acúmulo de Matéria Seca em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Presença e Ausência de Trevo Branco e Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 37–44, 2004.

BARRO, R. S. et al. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41, 1589-1597. 2012.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n.60, p.77-87, dez. 2009. Edição Especial. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/48/52>. Acesso em: 2 dez. 2023.

BERNARDON, A.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A.; MACCARI, M.; BORTOLLI, M. A. Carryover of N-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1- 16, 2020.

BERNARDON, A.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A. J.; MACCARI, M.; BORTOLLI, M. A. Carryover of n-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Taylor & Francis, v. 67, n. 5, p. 687–702, 2021.

CARPINELLI, S.; FONSECA, A. F.; NETO, P. H. D. Weirich; DIAS, H. B. S.; PONTES, L. S. Spatial and temporal distribution of cattle dung and nutrient cycling in integrated crop-livestock systems. **Agronomy**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 5, p. 672, 2020.

CARPINELLI, S. **Ciclagem de macronutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária no Centro-sul do Paraná**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, REUBEN M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; TERRA LOPES, M. L.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-15, 2010a.

CARVALHO, P. C. F et al. **Produção de Bovinos em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas v. 111, 2013.

CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de; TAVARES, E. C. N. **Comparação de custo de produção na atividade de pecuária de engorda nos principais países produtores de carne bovina.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SOBER, 2009.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CARVALHO, A. F. G. **Adubação nitrogenada de sistema e ofertas de forragem sobre a produtividade de um sistema de integração lavoura-pecuária.** 2018. 194 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, Acompanhamento da safra brasileira de grãos. [S. l.]: Conab, 2024.

DALEY, C. A. et al. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2010.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W.; SCHOLBERG, J.M.; SANTOS, H.Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, v. 47, p. 915-928, 2007.

EMBRAPA. Visão 2030 - Futuro da Agricultura Brasileira. Brasília: [s.n.]. 2018.

FARIAS, G. D., DUBEUX, J. C. B., SAVIAN, J. V., DUARTE, L. P., MARTINS, A. P., TIECHER, T., ... & Bremm, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, 40, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00643-2>. 2020.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. DE. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238–243, 2010.

FERREIRA, E. V. F. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade da soja na integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35 p.161-169, 2011.

FOGAÇA, M. A. D. F.; ANDRIOLO, J. L.; GODOI, R. D. S.; BARROS, C. A. P. D.; JANISCH, D. I.; VAZ, M. A. B. Curva crítica de diluição do nitrogênio para a cultura do melão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 345-350, 2008.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, n. 4, p. 1549–1561, 2008.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SICHIERI, F. R.; DEBIASI, H.; CONT, O. Yield of soybean, pasture, and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.1006-1013. 2014.

INGESTAD, T.; ÅGREN, G.I. Theories and methods on plant nutrition and growth. **Physiologia Plantarum**, v.84, p.177-184, 1992.

JACKSON, J.; ASH, A.J. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of Northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. **Agroforestry Systems**, v.40, p.159-176, 1998.

KAGIMURA, L. T. **Adubação de Sistemas: Antecipação de nitrogênio e potássio em solos arenosos e argilosos**. 2022. 130p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

KARAM, S. L.; WEISBERG, P.; SCHELLER, R.M.; JOHNSON, D. W.; MILLER, W. W. Development, and evaluation of a nutrient cycling extension for the LANDIS-II landscape simulation model. **Ecological Modelling**, v. 250, p. 45-57, 2013.

LIMA, R. C. D. L. **Adubação em sistemas: volatilização de amônia em área de integração lavoura pecuária em experimento de longa duração**. 2018. 98p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

LIN, C.H. et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforest System**, 59: 269-281. 2001.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: Diagnosis of the nitrogen status in crops. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. p. 3-43.

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.

LEMAIRE, G. et al. Domestic Herbivores, the Crucial Trophic Level for Sustainable Agriculture: Avenues for Reconnecting Livestock to Cropping Systems. **Agronomy**, v. 13, n. 4, 2023.

LEMAIRE, G. ; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v. 4, p. 423–430, 1984.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, M. de F. A.; VERNEQUE, R. da S. V.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.668-675, 2005.

MACCARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?** 2016. 122p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MACCARI, M.; ASSMANN, T. S.; BERNARDON, A.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A.; DE BORTOLLI, M.; & GLIENKE, C. L. Relationships between N, P, and K in corn biomass for assessing the carryover effects of winter pasture to corn. **European Journal of Agronomy**, 129, 126317. 2021.

MAPA. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/abc_final.pdf>. 2024.

MORAES, A. et al. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1024–1031, 2014.

MACCARI, M.; ASSMANN, T. S.; BERNARDON, A.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A.; DE BORTOLLI, M.; & GLIENKE, C. L. Relationships between N, P, and K in corn biomass for assessing the carryover effects of winter pasture to corn. **European Journal of Agronomy**, 129, 126317. 2021.

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

MORAES, A. et al. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1024–1031, 2014.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J. et al. **Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**. 1, 2002. Pato Branco. Anais. Pato Branco: Imprepel Gráfica & Editora Ltda, p. 3-42, 2002.

ONU. **População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022>>.

PACIULLO, D. S. C. et al. **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite., p. 137-154. 2007.

PONTES, L. D. S. et al. Long-term profitability of crop-livestock systems, with and without trees. **Agricultural Systems**, v. 192, p.103204, 2021.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. D. **Sistemas silvipastoris: fundamentos para a implementação**. In: PIRES, A. V. (Ed.). Bovinocultura de corte. Piracicaba: FEALQ, 2010. v. 2, Cap. 71, p. 1421-1461. 2010.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 36, p. 1043–1053, 2012.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWSKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura – pecuária. **Ciência Rural**, v.41, p. 1315-1322, 2011.

SARTOR, L. R.; ASSMAN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Assessment of the nutritional status of grassland: nitrogen nutrition index. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 35, p.449-456, 2014.

SARTOR, L. R.; SANDINI, I. E.; ADAMI, P. F.; NOVAKOWSKI, J. H.; RUTHES, B. E. S. Corn yield and grain nutritional status in a crop-livestock system with winter/summer nitrogen levels. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2018.

SILVA, R. D. O., BARIONI, L. G., HALL, J. A. J., MORETTI, A. C., VELOSO, R. F., ALEXANDER, P., ... MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, 153, 201–211. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001>.

SOUZA, W; BARBOSA, O.R.; MARQUES, J.A et al. Behavior of beef cattle in or silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.39, n.3, p.677-684, 2010.

TRINDADE, J. P. P.; VOLK, L. B. da S.; ROCHA, D. S. da; COELHO, A. **Preservar para produzir: recomendações de manejo para os campos da Campanha, Fronteira Oeste e Missões do Rio Grande do Sul**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2018b. 29 p. (Embrapa Pecuária Sul. Circular técnica, 50).

TULLY, K.; RYALS, R. Nutrient cycling in agroecosystems: Balancing food and environmental objectives. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, Taylor & Francis, v. 41, n. 7, p. 761–798, 2017.

VERKROOST, A. W. M.; WASSEN, M. J. A simple model for nitrogen-limited plant growth and nitrogen allocation. **Annals of Botany**, v.96, p.871-876, 2005.

WILSON, J.R. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. **Tropical Grasslands**, v.32, p.209-220, 1998.

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J. **Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas**. Pasturas Tropicales. v, 25, p. 21-26, 2003.

ZOLIN, C. A.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S.; PAULINO, J.; LAL, R.; SPERA, S. T.; BEHLING, M.; Short – term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the cerrado-amazon ecotone. **Acta Amazonica**, SciELO Brasil, v. 51, p. 102-112. 2021.

CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE DO MILHO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: EFEITO DAS ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO DE SISTEMA

2.1 INTRODUÇÃO

O milho é o terceiro cereal mais produzido, globalmente (Eskandri; Ghanbari, 2009), portanto, é uma cultura importante a ser considerada em SIPA no Brasil. A associação da cultura de milho com árvores em SIPA pode potencializar alguns benefícios, como a captação de nutrientes do solo em profundidade, aproveitamento da serrapilheira decomposta e da contribuição para o processo de sequestro de carbono, minimizando os efeitos dos gases do efeito estufa (Tonucci et al., 2010). No entanto, o desenvolvimento da lavoura intercalada dependerá do ciclo das árvores. No início, como as árvores competem menos com a cultura intercalar, seja por luz, água ou nutrientes, efeitos benéficos das árvores podem ser observados (Silva et al., 2007). Por exemplo, estudos realizados por Porfirio-da-Silva et al. (2012) expuseram que o cultivo do milho associado a árvores apresentou maior produtividade aos sistemas convencionais. Por outro lado, com as árvores maduras, o excesso de sombreamento constitui no principal fator que influencia a produtividade do milho em SIPA arborizados. Árvores maduras apresentam porte elevado, então acabam interceptando parte da radiação, diminuindo a luminosidade entre renques, onde o milho é cultivado (Perin et al., 2011). Porém, a medida em que as linhas de milho se distanciam da linha das árvores, ocorre uma maior incidência de luz, resultando num aumento linear de produtividade (Perin et al., 2011). Portanto, o impacto das árvores na produtividade do milho é variável ao longo do crescimento destas e, consequentemente, a demanda e exportação de nutrientes do sistema.

Em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), o milho possui destaque, devido ao seu alto potencial (Vilela et al. 2011) e sua alta resposta ao nitrogênio (N) aplicado e ao N residual da pastagem (Silva et al., 2007). Contudo, a demanda de N pela cultura do milho é alta e necessária para um bom crescimento. Segundo Maccari (2016), a cultura do milho requer aproximadamente de 20 a 28 kg de N ha⁻¹ para a produção de uma tonelada de grãos de milho. Nos sistemas convencionais de cultivo de milho, a quantidade de matéria orgânica no solo e a expectativa de rendimento da cultura são utilizados para determinar a quantidade de N aplicado à cultura. Além desses parâmetros, a disponibilidade de nutrientes contidos nos resíduos vegetais e as quantidades de N aplicado na pastagem são considerados para avaliar a necessidade de N para a cultura num sistema integrado (Maccari, 2016).

A compreensão sobre a nutrição das plantas é de grande valia, principalmente quando se trata do N (Kagimura, 2022). O N apresenta grande dinâmica dentro dos sistemas de produção e pode influenciar o manejo da adubação (Maccari, 2016). É o nutriente com maior exigência quantitativa, pois este elemento é integrante das proteínas, enzimas, fitocromos, coenzimas, ácidos nucleicos (DNA e RNA), bases nitrogenadas (Taiz e Zeiger, 2004) e faz parte da clorofila e fitohormônios (Bissani et al., 2008). Um bom aproveitamento do N aplicado em SIPA é via utilização na cultura antecessora, com o objetivo de efeitos residuais, gerando incrementos na cultura em sucessão. A adubação nitrogenada, num sistema de ILP, feita durante o inverno com gramíneas forrageiras antecedendo culturas de grãos, é a melhor alternativa para aproveitamento de N (Sandini et al., 2011), em função da menor exportação pelo produto animal, em comparação com a exportação de nutrientes via grãos, menores perdas por volatilização, devido menores temperaturas no inverno e menor espaçamento na semeadura das pastagens em comparação com culturas de verão, proporcionando sistemas radiculares mais densos na pastagem que contribuem para absorção do N, reduzindo perdas.

Fósforo (P) e potássio (K) exercem grandes influências sobre o acúmulo de biomassa e produção de grãos nas culturas. Tais nutrientes apresentam uma relação muito estreita com o N (Briat et al., 2020). Em SIPA, a presença de ciclos de nutrientes, como a interação entre o componente vegetal e animal, desempenhando papel fundamental na disponibilidade e ciclagem do P. As plantas, por meio de suas raízes, absorvem o P presente no solo. Quando os animais consomem essas plantas, o P é incorporado ao seu metabolismo pelo pastejo e, conseqüentemente, faz parte da dieta e, posteriormente, (Korb, 2023), 30 % do P é liberado no solo através do esterco (Carpinelli et al., 2021). Além disso, a atividade microbiana no solo também desempenha um papel importante na ciclagem do P, promovendo sua transformação em formas mais solúveis, facilitando assim a absorção pelas plantas. Portanto, a ciclagem do P no ciclo planta-animal é de grande importância para garantir a disponibilidade adequada desse nutriente essencial para o crescimento das plantas. Através desse ciclo, o P é reciclado e reaproveitado, contribuindo para a sustentabilidade dos SIPA (Korb, 2023).

Já o K, no milho, eleva a qualidade do vegetal, principalmente a massa individual dos grãos e no número de grãos por espiga (Rodrigues et al., 2014).

Rodrigues et al. (2014), constataram que o incremento de doses de K_2O promoveu o aumento das concentrações de K e clorofila nos tecidos foliares; proporcionou o aumento da altura do milho e na inserção da espiga, além do crescimento do número de fileiras e de grãos por espiga. Foloni e Rosolen (2008) demonstram que a antecipação da aplicação de K na semeadura do milheto (*Pennisetum glaucum*) não prejudicou o acúmulo desse nutriente na

cultura de soja. Ainda, observaram que as doses de 85 a 90 kg ha⁻¹ de K resultou na maior produtividade da soja e, a aplicação antecipada de KCl minimizou a exportação de K pela soja.

Embora os fertilizantes nitrogenados tenham sido amplamente estudados em sistemas agrícola, poucos estudos consideraram a utilização de estratégia de adubação de sistema com milho, especialmente considerando N, P e K, em solos arenosos e em SIPA com árvores. As árvores podem impactar na produtividade da pastagem e, conseqüentemente, na taxa de lotação (Pontes et al., 2021), na distribuição espacial do esterco e na quantidade de resíduos (vegetais e animais) disponíveis para a ciclagem de nutrientes (Carpinelli et al. 2020), mas tais impactos são variáveis ao longo do desenvolvimento das árvores.

Dessa forma, os principais objetivos do presente trabalho foram: i) Determinar o impacto da adubação de sistemas, isto é, da antecipação da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, a qual ocorreu na fase pastagem do SIPA, nos componentes de rendimentos e na produtividade do milho em sucessão; e ii) Analisar os componentes de rendimentos e a produtividade do milho, em distintos SIPA, isto é, com ou sem a presença de árvores, e com distintas doses prévias de N na pastagem de inverno.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Descrição do local

O experimento foi conduzido na estação de Pesquisa Fazenda Modelo (25°07' 22" S; 50°03' 01" W; altitude média: 953 m), no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-Emater, em Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, região Centro-Sul do Estado do Paraná.

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima local da região é subtropical úmido, ou Cfb subtropical úmido mesotérmico, com verões brandos e inverno com geadas frequentes, com temperatura média anual de 17,6°C, com máximas e mínimas de 24,3°C e 8,5°C, respectivamente. A precipitação média anual situa-se entre 1600 e 1800 mm, distribuídos no decorrer do ano (Caviglione et al., 2000). O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico Distrófico típico, A moderado, textura média e Latossolo Vermelho Distrófico típico, 4 a 9% de declividade, com 19%, 3% e 78% de argila, silte e areia nos 20 cm superiores, respectivamente (EMBRAPA, 2006). Na Tabela 1 encontram-se os dados climáticos da região durante o período experimental.

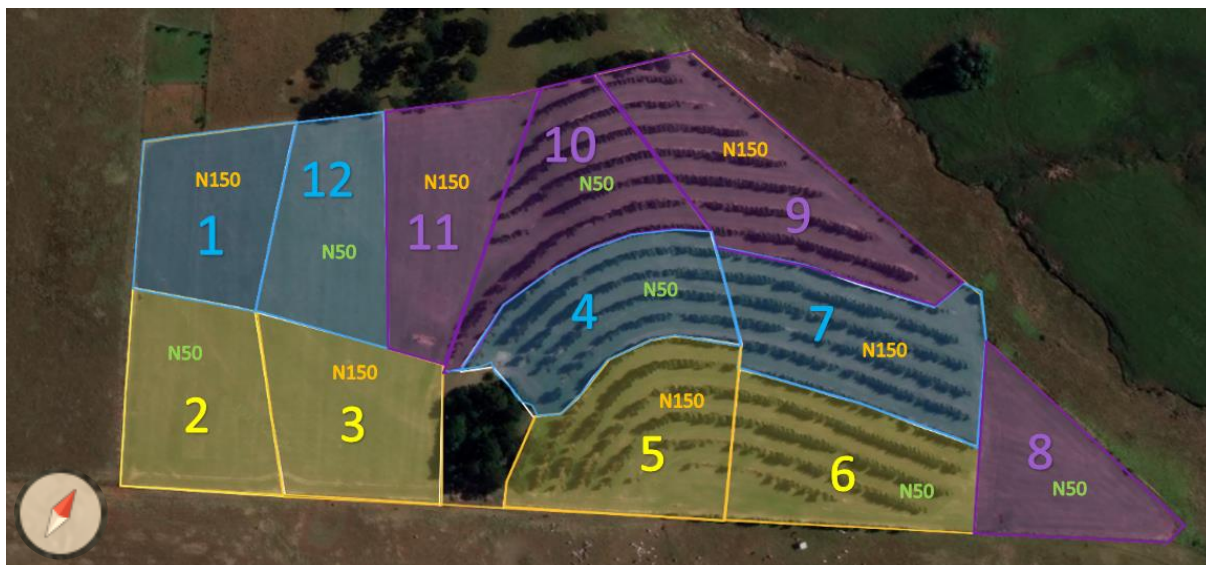
Tabela 1. Dados de precipitação pluviométrica e temperatura média durante o período experimental e média histórica (1997-2023) da cidade de Ponta Grossa, Paraná.

Meses	Dez/22	Jan/23	Fev/23	Mar/23	Abri/23	Mai/23
Precipitação (mm)	258,8	123,8	210,4	125,6	52,0	30
Média histórica (mm)	149,8	162,3	156	124,8	86,8	88,8
Temperatura média (°C)	21,1	21,5	21,1	29,8	16,4	17,5
Média histórica (°C)	21	21,4	21,4	20,9	19	15,4
Temperatura máxima (°C)	21,8	22,2	21,7	31,0	19,9	18,2
Média histórica (°C)	27,2	27,3	27,6	27,2	25,2	21
Temperatura mínima (°C)	20,4	20,8	20,5	29,1	18,8	16,8
Média histórica (°C)	16,5	17,4	17,2	16,7	14,5	10,8

Fonte: Simepar

A área experimental compreende 13,07 ha⁻¹, divididos em 12 unidades experimentais (Figura 1), com dimensões variáveis (de 0,862 ha⁻¹ até 1,438 ha⁻¹), sendo 6,98 ha⁻¹, compreendendo 6 unidades experimentais, no sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e o restante em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). As unidades experimentais foram individualizadas com auxílio de cerca elétrica (Figura 1).

Figura 1. Croqui da área experimental localizada na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.



Fonte: Foto aérea retirada do Google Earth e croqui elaborado pela Autora (2023).

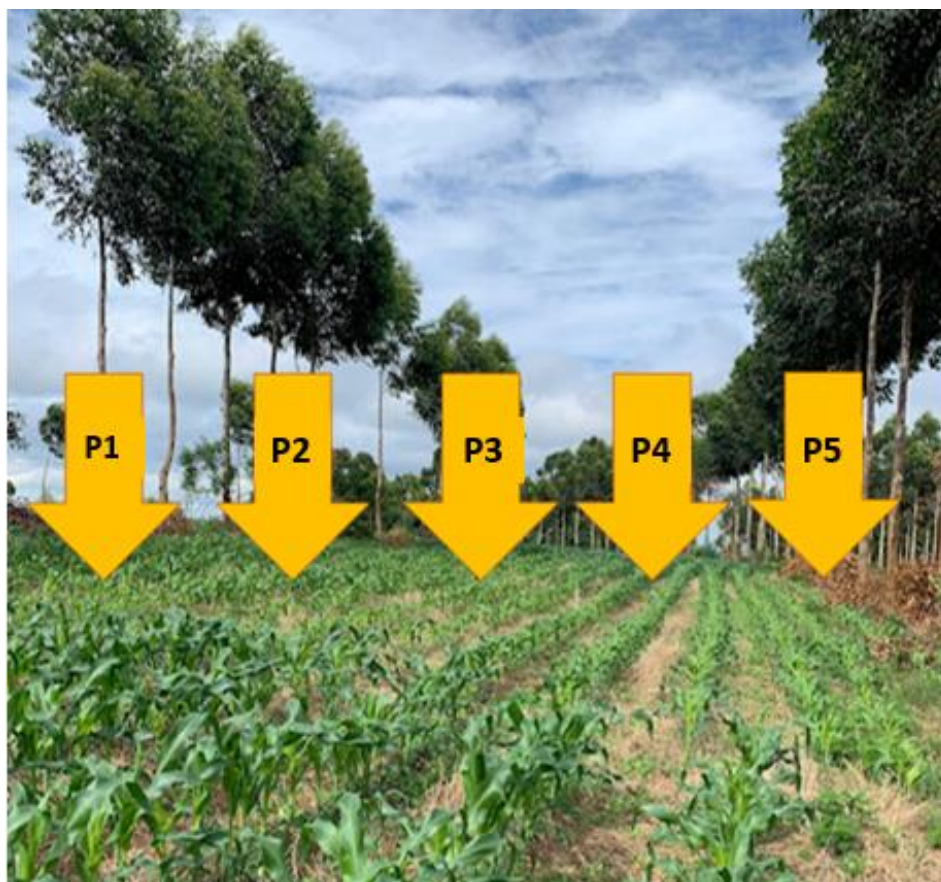
O delineamento experimental é o de blocos casualizados com quatro tratamentos principais, resultantes de dois fatores, isto é, presença ou ausência de árvores, denominados de ILP e ILPF, respectivamente, e duas doses de adubação nitrogenada na pastagem de inverno, 50 e 150 kg de N ha⁻¹, N50 e N150, respectivamente; com três repetições cada (Figura 1).

Nos dias 20 e 21 de novembro de 2019 foi realizado o plantio de árvores de eucalipto (*Eucalyptus grandis* clone GPC 23), dispostas em filas simples, com distância de 3 m entre árvores e 14 m entre linhas de árvores. Tais linhas foram equidistantes e dispostas transversalmente ao sentido da declividade do terreno para promover a diminuição do escoamento superficial da água das chuvas e para que o deslocamento de máquinas e de animais seja predominantemente transversal ao sentido da declividade do terreno (Porfírio-da-Silva et al., 2010).

Ao total, cerca de 1074 árvores de eucalipto estavam plantadas na área experimental. Aos 29 dias pós-plantio foi realizado o replantio total de 450 mudas, pois perdas ocorreram por lebres, formigas e deriva de herbicidas. Para a adubação do eucalipto foi utilizado 90 gramas por/cova de superfosfato simples (SSP). A adubação de cobertura ocorreu 31 dias após o semeadura, utilizando ureia (30 gramas por planta) e KCl (60 gramas por planta). Aos 12 meses de idade, as árvores passaram pelo primeiro processo de desrama até a altura correspondente a 50% de cada árvore. E em novembro de 2022 foi realizada a segunda desrama.

Em razão das possíveis diferenças na incidência da radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel arbóreo, cada unidade experimental no sistema arborizado foi dividida em cinco distâncias relativas a dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques). Tais posições representam os locais de amostragens (Figura 2).

Figura 2. Posições de avaliação entre dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques) no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Foto realizada após a implantação da cultura de milho, safra 2022/2023.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Em abril de 2022 foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, uma amostra composta por nível de profundidade e unidade experimental, totalizando 24 amostras, para as análises químicas e posteriores recomendações de adubação. A média para os seguintes atributos na camada 0-20 cm foram de: pH (CaCl_2) de 5,3; concentração de H^+Al de $3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al; $3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca; $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg e $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, respectivamente; $55,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível (Mehlich-1); $14,7 \text{ g dm}^{-3}$ de C (Walkley-Black), respectivamente. Considerou-se para as recomendações de fertilizantes o nível de produtividade entre 13 - 16 toneladas por hectare, de acordo com o manual de adubação

e calagem do Estado do Paraná (2019).

Em 25 de abril de 2022, após colheita da soja, a área foi dessecada com ingrediente ativo glifosato (na concentração de 2,5 litros por hectare). A pastagem de aveia-preta (IPR 61) + azevém (BRS Ponteio) foi semeada em 26 de abril de 2022, com espaçamento de 0,17 m, com 60 kg de sementes de aveia ha^{-1} + 20 kg de sementes de azevém ha^{-1} e 70 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Em cinco de maio foi feita adubação em cobertura, usando 225 kg ha^{-1} do formulado NPK 20-5-20 (45kg N ha^{-1} , 11,25kg P_2O_5 ha^{-1} e 45kg K_2O ha^{-1}) e no dia 30 de maio foi feita adubação em cobertura com mais 80 kg de K_2O ha^{-1} . A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada no dia 31 de maio de 2022, na fase de início do perfilhamento da pastagem, com 50 ou 150 kg de N ha^{-1} , em função dos tratamentos.

No dia primeiro de dezembro de 2022, antes da semeadura do milho, amostras de 0,5 x 0,5 m foram coletadas por unidade experimental para a determinação da quantidade de resíduo da pastagem. No sistema de ILP foram coletadas três amostras aleatórias por unidade experimental e, no ILPF, cinco amostras, isto é, em função das cinco posições entre linhas de árvores (Figura 2). Estas amostras foram coletadas entre a dessecação do resíduo da pastagem e a semeadura da cultura do milho.

No dia seis de dezembro de 2022, procedeu-se a dessecação do resíduo da pastagem com 1,2 L ha^{-1} do herbicida, 3 L ha^{-1} de glifosato, 300 mL ha^{-1} de óleo mineral.

Nos dias sete, oito e nove de dezembro de 2022 procedeu-se a semeadura do milho, híbrido 2401 PWU, com semeadora-adubadora de plantio direto. Juntamente com os procedimentos de adubação de base com 350 kg ha^{-1} do formulado NPK 10-20-20 (35 kg N ha^{-1} , 70 kg P_2O_5 ha^{-1} e 70 kg K_2O ha^{-1}). Para isso, utilizou-se 5,3 sementes por metro linear, num espaçamento de 80 cm entre linhas, totalizando uma população de 62.000 plantas ha^{-1} .

Cada unidade experimental contou com duas subparcelas, sendo uma com adubação de base (CB), isto é, 350 kg ha^{-1} do formulado NPK 10-20-20 e outra sem adubação de base (SB), com tamanho de 18 x 14 m (252 m^2) cada, em ambos os sistemas, ILP ou ILPF. Tais subparcelas foram subdivididas em subsubparcelas (14 x 8 m) com nitrogênio (150 de N ha^{-1}) e sem nitrogênio em cobertura no milho. O esquema de cada subsubparcelas está demonstrado na Figura 3.

Figura 3. Vista aérea da área experimental localizada na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo em Ponta Grossa. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em vermelho e sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) com componente arbóreo (*E. grandis* de 3 anos com espaçamento de 14 x 3 m), na cor verde. Na pastagem de inverno, quatro tratamentos foram avaliados resultantes do cruzamento de dois fatores, ou seja, presença (parcelas 4, 5, 6, 7, 9 e 10) vs. ausência de árvores (parcelas 1, 2, 3, 8, 11 e 12) e duas doses de nitrogênio (as parcelas 2, 4, 6, 8 e 10 foram adubadas com 50 kg de N ha⁻¹ e as parcelas 1, 3, 5, 7 e 9 com 150 kg de N ha⁻¹). As subparcelas indicam sem (números em azul de 1 a 12) e com 350 kg ha⁻¹ de NPK (de 13 a 24) como adubação de base na formulação 10-20-20. As subsubparcelas (9 × 14 m) indicam duas doses de N em cobertura no milho: zero x 150 kg de N ha⁻¹ (NO e N150, respectivamente).



Fonte: Foto aérea retirada do Google Earth e croqui elaborado pela Autora (2023).

No dia 02/01/2023 foram realizadas as seguintes aplicações: Atrazine (5 L ha⁻¹), Soberan (240 mL ha⁻¹), espalhante adesivo parafinado (500 mL ha⁻¹) e inseticida Talisman (700 mL ha⁻¹) para controle de plantas daninhas e insetos. No dia 10/01/2023 foi realizada a aplicação do inseticida Engeo Pleno (250 mL ha⁻¹) para o controle de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*).

Quando o milho se encontrava no estágio V6, no dia 11 de janeiro de 2023, procedeu-se a adubação nitrogenada em cobertura, utilizando-se ureia (46% de nitrogênio) como fonte, numa dosagem equivalente a 326,1 kg de ureia ha⁻¹ totalizando 150 kg de N ha⁻¹, exceto nas subsubparcelas do tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura do milho.

2.3 COLETA DE DADOS

2.3.1 Avaliações de Emergência

Tais avaliações foram realizadas em cinco linhas de cinco metros lineares por unidade experimental, dentro de cada subparcela no sistema de ILP. No sistema de ILPF, a demarcação foi de duas linhas de cinco metros lineares em cada uma das cinco posições entre dois renques, ou seja, 10 linhas no total foram avaliadas (duas a cada distância, de acordo com a Figura 2) por subparcela.

Para a análise do Número de Dias para a Emergência (NDE), as avaliações de contagem das plântulas foram realizadas entre os dias 07/12/2022 e 22/12/22. Diariamente, desde o primeiro dia após a semeadura, foram contados o número de plântulas visíveis, até sua estabilização. A estabilização foi definida após a contagem de três avaliações sucessivas com o mesmo número de plântulas emergidas.

O Índice de Velocidade de Emergência do milho (IVE) foi avaliado por meio de contagens diárias de estande até a estabilização do mesmo. Os valores do IVE foram determinados pela equação (1), conforme Souza et al. (2013):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

2.3.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA)

O objetivo dessa avaliação foi avaliar o impacto da radiação fotossinteticamente ativa na cultura de milho, cultivado no ILPF.

O sombreamento proporcionado pelo arranjo arbóreo foi caracterizado por avaliações da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível, com ajuda de dois ceptômetros (Decagon LP-80 AccuPAR, Pullman, WA, USA). Um ceptômetro ficou em área à pleno sol, para medidas a cada um minuto, e o outro colocado entre as linhas de plantio dos renques, considerando as cinco posições (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques). As avaliações foram realizadas nos dias 15 de dezembro de 2022 e 06 de janeiro de 2023, a cada 15 minutos, nas cinco posições entre dois renques arbóreos, no período de 08:40h até 16:20h no dia 15/12/22 e no período de 09:16h até 15:42h no dia 06/01/23. O cálculo utilizado para a redução na disponibilidade de RFA em cada posição entre dois renques de árvores foi realizado pela diferença entre os valores dos dois ceptômetros.

2.3.3 Avaliação de área-útil

No sistema de ILPF, medidas foram realizadas para a determinação da área ocupada pela lavoura de milho. Para tal propósito, 10 medidas sucessivas e aleatórias, com o auxílio de uma trena, foram realizadas entre a primeira linha de semeadura do milho e a última linha entre dois renques arbóreos. Essa medida foi necessária para considerar a área total ocupada somente para lavoura de milho, desconsiderando a área ocupada pelos renques de árvores. Para a determinação da área ocupada pelas árvores, procedeu-se 10 medidas de largura de cada renque, ou seja, em todas as linhas de árvores. Variações na largura dos renques acarretaram diferenças nos números de linhas de plantio entre os renques, que variou entre 14 e 16 linhas.

2.3.4 Determinação das concentrações de N, P e K

Logo antes da adubação nitrogenada em cobertura, isto é, no dia nove de janeiro de 2023, foram coletadas as plantas inteiras de milho, contidas em linhas de 1,5 metros lineares nas duas subparcelas (com e sem adubação de base) de cada unidade experimental. No sistema ILPF, tais coletas foram realizadas nas cinco posições entre dois renques de cada subparcela. Tais amostragens foram realizadas com o objetivo de verificar a concentração de N, P e K nas plantas.

As plantas foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada a 60°C até a massa constante, para mensuração da massa seca (MS), posteriormente tiveram sua massa avaliada, e em seguida foram moídas em moinho do tipo Willey (peneiras de um milímetro) e armazenadas em sacos plásticos até a realização das análises químicas. As concentrações de N foram determinadas por meio de digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações das concentrações de P e K, foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) para P e espectrofotometria de emissão de chama (EEC) para K. Todas as análises químicas de plantas foram realizadas mediante o emprego dos métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997).

2.3.5 Avaliações dos componentes de rendimento do milho

Entre os dias 8 e 10 de maio de 2023 foram realizadas as amostragens para as avaliações dos componentes de rendimento do milho. Para tanto, foi realizada a contagem do número de plantas em duas linhas de cinco metros lineares (estande final), em cada subsubparcela, sendo que no sistema ILPF foi realizado também em função das cinco distâncias das árvores. Posteriormente, realizou-se a medida de altura de inserção da primeira espiga (distância entre a

base da planta e a inserção da primeira espiga) em 10 plantas por linha. Foram coletadas as 10 primeiras plantas rente ao solo, de cada linha e de cada subsubparcela, totalizando quatro amostras no ILP e 20 amostras no ILPF, por unidade experimental. No laboratório, realizou-se a contagem do número de fileiras de grãos por espigas; número de grãos por fileira; e peso de planta inteira. O índice de colheita foi calculado pela divisão de massa de grãos pela massa total da planta.

Para análise da produtividade do milho, foi realizada coleta de duas linhas de milho de cinco metros lineares em cada subsubparcela, sendo que no sistema ILPF considerou também as cinco distâncias entre renques arbóreos. No ILP foi coletada uma amostra por subsubparcela, totalizando 24 amostras, e no ILPF 5 amostras por subsubparcela, totalizando 120 amostras. Tais espigas foram posteriormente debulhadas e pesadas, sendo o peso para 13% de umidade.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância, usando o modelo de parcelas subsubdivididas com o programa R (R Core Team, 2022), dentro do R Studio (RStudio Team, 2020), considerando as parcelas principais a combinação entre sistema (GL=1) e doses de N na pastagem (GL=1), as subparcelas o fator adubação de base com NPK e as subsubparcelas o fator adubação nitrogenada em cobertura no milho. O fator bloco (GL=2) foi incluído como efeito aleatório e os demais como fixos. Foi utilizado modelo linear misto (lmer).

Quando as interações entre os fatores não foi significativa, ela foi excluída do modelo final. As médias das variáveis dependentes, significativamente afetadas pelas variáveis independentes, segundo a análise de variância, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

2.5 RESULTADOS

Efeito significativo ($P > 0,05$) foi observado para massa de resíduo do pasto, antes da semeadura do milho, somente entre as doses de N aplicadas na pastagem, apresentando médias de $1813,3 \pm 181,13 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $2231,93 \pm 169,5 \text{ kg MS ha}^{-1}$, nas doses de 50 e 150 kg de N ha^{-1} , respectivamente.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das análises de variância (ANOVA) para as concentrações de N, P e K na planta inteira de milho (fase V4). Houve interação significativa ($P < 0,01$) entre sistema e adubação de base para as concentrações de N, pois respostas contrárias foram observadas à adubação entre os sistemas. Enquanto a concentração em N foi reduzida

com a adubação de base no ILP ($7,32 \pm 1,63$ g de N/kg de MS e $10,71 \pm 0,6$ g de N/kg de MS para os tratamentos sem e com adubação de base, respectivamente), o contrário ocorreu no ILPF ($9,20 \pm 0,49$ g de N/kg de MS e $8,76 \pm 0,42$ g de N/kg de MS para os tratamentos sem e com base), respectivamente. Para a massa das plantas obtidas na fase V4, as médias nos sistemas foram: $783,4 \pm 67,74$ kg MS ha⁻¹ no ILP e $482,3 \pm 27,1$ kg MS ha⁻¹ no ILPF; e para o tratamento com adubação de base foi de $655,4 \pm 38,42$ kg MS ha⁻¹ e sem adubação de base foi de $409,5 \pm 30,4$ kg MS ha⁻¹.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para a cultura do milho coletadas na fase V4 (9 de janeiro de 2023).

Variáveis	A	B	C	A x B	A x C	B x C	A x B x C
Concentração de N	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Concentração de P	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Concentração de K	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

A, Sistema (ILP x ILPF); B, doses de N no pasto (50×150 kg de N ha⁻¹); C, Com ou sem adubação de base no milho; D, Com ou sem adubação em cobertura com N no milho;

***, $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0,05$; NS, não significativo.

Em relação as concentrações de P, houve efeito significativo ($P < 0,01$) apenas para o fator doses de N aplicadas na pastagem, sendo maior na dose de 50 kg de N ha⁻¹, com média de $3,81 \pm 0,17$ g de P/kg de MS, do que na dose de 150 kg de N ha⁻¹, com média de $3,07 \pm 0,2$ g de P/kg de MS. Não foram observadas diferenças significativas para a concentração em K (Tabela 3), sendo a média geral de $33,7 \pm 0,99$ g de K/kg de MS.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises de variância (ANOVA) para as variáveis avaliadas na cultura de milho.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis da cultura do milho: número de dias até a emergência (NDE), índice de velocidade de emergência (IVE), altura de plantas, peso de 1.000 grãos, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, índice de colheita e produtividade.

Variáveis	A	B	C	D	A x C	A x D	B x D	B x C x D	A x B x C x D
NDE	*	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
IVE (plantas/dia)	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Altura de plantas	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
Peso de 1000 grãos	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	NS	NS
Número de grãos/fileira	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
Número de fileiras/espiga	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Índice de colheita	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Produtividade	*	NS	***	NS	***	NS	NS	NS	NS

A, Sistema (ILP x ILPF); B, doses de N no pasto (50 x 150 kg de N ha⁻¹); C, Com x sem adubação de base no milho (zero x 350 kg NPK ha⁻¹); D, Com x sem adubação em cobertura com N no milho (zero x 150 kg de N ha⁻¹); ***, P<0.001; ** P<0.01; * P<0,05; NS, não significativo.

Os estandes de plantas, inicial e final, não apresentaram diferenças significativas (P>0,05) entre os fatores estudados, apresentando médias de $5,53 \pm 0,05$ e $5,49 \pm 0,24$ plantas por metro linear, respectivamente.

Quanto ao número de dias até a emergência, foi observado efeito significativo (P<0,05) quanto ao sistema e adubação de base realizada no milho (Tabela 3). Maiores valores foram encontrados no sistema de ILPF, com média de $10,0 \pm 0,132$ dias, em relação ao ILP com média de $9,4 \pm 0,25$ dias. Em relação a adubação de base, as plântulas emergiram mais rápido no tratamento com adubação de base, ou seja, com 350 kg de NPK, com média de $10,1 \pm 0,17$ dias, em comparação ao tratamento sem adubação de base ($9,4 \pm 0,122$ dias). O índice de velocidade de emergência apresentou diferenças significativas entre as doses de N no pasto com médias de $4,19 \pm 0,11$ e $3,90 \pm 0,07$ plantas/dia no N50 e N150, respectivamente.

Em relação à altura de plantas no estágio V4, observou-se diferenças significativas (P<0,05) apenas para a interação entre sistema e dose de N aplicado em cobertura no milho. Respostas contrárias à adubação nitrogenada foram observadas entre os sistemas. Enquanto no ILP a altura de plantas aumentou com a adição de N ($1,26 \pm 0,05$ m no ILP sem N e $1,35 \pm 0,04$ m no ILP com N), o oposto foi observado no ILPF ($1,21 \pm 0,02$ m no ILPF sem N e $1,17$ m no ILPF com N).

Diferenças significativas foram observadas para o peso de 1.000 grãos entre as doses de N em cobertura no milho, sendo a média de $281 \pm 3,0$ g no tratamento sem N e de $284 \pm 2,6$ g no tratamento com 150 kg de N ha⁻¹. Além disso, interação significativa entre os fatores N

em cobertura no pasto vs. N em cobertura no milho foi observada, sendo as médias de: $276 \pm 4,05$ g (com 50 kg de N ha⁻¹ no pasto e zero kg de N ha⁻¹ em cobertura no milho); $288 \pm 3,77$ g (com 50 kg de N ha⁻¹ no pasto e 150 kg de N ha⁻¹ em cobertura no milho); $285 \pm 4,31$ g (com 150 kg de N ha⁻¹ no pasto e zero kg de N ha⁻¹ em cobertura no milho) e $281 \pm 3,49$ g (com 150 kg de N ha⁻¹ no pasto e 150 kg de N ha⁻¹ em cobertura no milho).

Diferenças significativas ($P < 0.001$) entre sistemas foram observadas para o número de grãos por fileira, sendo as médias de: $30,1 \pm 0,083$ grãos/fileira para o ILP e $27 \pm 0,053$ grãos/fileira para o ILPF.

Para a variável número de grãos por fileira foi observado interação entre as doses de N aplicadas na pastagem, adubação de base e adubação nitrogenada em cobertura no milho, sendo as médias apresentadas na Tabela 4. Tal interação explicou 11,8% da variância. No entanto, não há diferenças significativas no teste de médias (Anexo 1).

Tabela 4. Médias ($\pm$ erro padrão) das interações para a variável número de grãos por fileiras sob duas doses de adubação nitrogenada na pastagem (50 kg de N ha⁻¹ x 150 kg de N ha⁻¹, N50 e N150, respectivamente), dois níveis de adubação de base NPK 10-20-20 (zero x 350 kg ha⁻¹) e com duas doses de N em cobertura (zero x 150 kg de N ha⁻¹).

	N50		N150	
	0 kg de N ha ⁻¹	150 kg de N ha ⁻¹	0 kg de N ha ⁻¹	150 kg de N ha ⁻¹
Zero NPK	$27,8 \pm 0,09$	$27,2 \pm 0,12$	$28,4 \pm 0,14$	$28,1 \pm 0,10$
350 kg de NPK	$28,0 \pm 0,15$	$27,8 \pm 0,17$	$27,3 \pm 0,12$	$26,9 \pm 0,13$

Diferenças significativas entre sistemas foram observadas quanto ao número de fileiras por espiga, com valores médios de $16,2 \pm 0,203$ fileiras/espiga no ILP e $15,2 \pm 0,113$ fileiras/espiga no ILPF.

O índice de colheita (IC) apresentou efeito significativo apenas do fator sistema (Tabela 1), sendo maior no ILPF, com média de $0,385 \pm 0,005$, do que no ILP, com média de $0,319 \pm 0,009$.

A produtividade foi significativamente superior no tratamento ILP, em relação ao ILPF e no tratamento com adubação de base, em relação ao sem adubação de base (Tabela 5). Também, foi observada interação entre sistemas e adubação de base (Tabela 3) para a produtividade, sendo as médias apresentadas na Tabela 5. A produtividade do milho foi significativamente superior no tratamento ILP com adubação de base (Tabela 5) em relação aos demais. Não houve resposta à adubação de base no sistema de ILPF.

Tabela 5. Médias ($\pm$ erro padrão) da produtividade do milho (kg ha^{-1}) em dois sistemas integrados, lavoura-pecuária somente (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e com ou sem adubação de base.

	ILP	ILPF	Médias
Sem adubação de base	7.169 $\pm$ 485,0 b	7.462 $\pm$ 216,2 b	7.408 $\pm$ 196,5
Com adubação de base	10.050 $\pm$ 432,9 a	7.880 $\pm$ 169,2 b	8.246 $\pm$ 184,8
Médias	8.610 $\pm$ 437,4	7.680 $\pm$ 136,7	

NPK: N (Nitrogênio); P (Fósforo); K (Potássio). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Cabe salientar que 25% de área no ILPF era ocupada pelas árvores para produção de madeira, portanto, em um hectare da associação milho e árvores, a produção de grãos foi em média de 5.760 kg ha^{-1} .

2.6 DISCUSSÃO

Em relação a concentração de NPK (Tabela 2), houve efeito significativo das doses de N aplicadas na fase pastagem na concentração em P no milho, sendo as médias superiores na menor dose de N ($50 \text{ kg de N ha}^{-1}$). Portanto, há um efeito residual do N no pasto na concentração em P do milho. De acordo com Ziadi et al. (2007), a concentração crítica de P para plantas em crescimento é afetada pelo nível nutricional de N. A disponibilidade de P para o milho foi, portanto, parcialmente determinada pela disponibilidade de N resultante da pastagem anterior, destacando a forte interação entre os dois nutrientes (Briat et al., 2020).

O aumento da produção de matéria seca pode estimular o crescimento da biomassa microbiana do solo, que converte o N das excretas dos animais e dos resíduos das plantas em formas disponíveis de N para as plantas. No entanto, quando os níveis de P no solo são médios, isso pode resultar na imobilização de P na biomassa vegetal e microbiana, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (Rheinheimer et al., 2008). Assim, locais que não apresentam limitações em relação ao N poderiam também proporcionar melhores nutrições para P e K, considerando essa relação positiva (Lemaire; Sinclair; Bélanger, 2019). Dessa maneira, manter uma quantidade de resíduo no solo, como condição do SPD, auxilia em maior estabilidade e manutenção da fertilidade do solo, pois proporciona condições nutricionais e ganhos produtivos (Kagimura, 2022). Cabe salientar que durante a fase de semeadura do milho, a quantidade de resíduo disponível foi influenciada pela adubação nitrogenada da pastagem, com maior quantidade de resíduo na maior dose de N.

Ressaltando que a germinação e a emergência de plântulas são fatores determinantes para o crescimento e desenvolvimento de todas as plantas de cultivo anual, realizou-se avaliações de emergências nas plântulas de milho. Condições de temperatura do solo, umidade, qualidade da semente, luminosidade e profundidade de semeadura (Barbosa et al., 1983) afetam a germinação e emergência. Por exemplo, no período semeadura-emergência, o meristema apical está abaixo da superfície do solo e o efeito da temperatura é um fator limitante para o desenvolvimento inicial do milho (Stone et al., 1999; Janowiak et al., 2003). O número de dias até a emergência foi significativamente superior no sistema de ILPF do que no ILP (Tabela 3) e no tratamento com adubação de base na fase inicial de desenvolvimento do milho do que sem adubação (Tabela 3). Portanto, as possíveis mudanças no microclima proporcionado pelas árvores, como redução da evapotranspiração, bem como variações na amplitude térmica, não afetaram positivamente a velocidade de emergência.

O índice de colheita também é influenciado pela disponibilidade de água, de nutrientes e temperatura (Durães et al., 1993). Este índice refere-se à fração dos grãos produzidos em relação a matéria seca total da planta (Fancelli & Dourado Neto, 2000). O sistema de ILPF apresentou valores superiores para o IC em relação ao sistema de ILP. Portanto, as plantas no ILPF necessitaram de uma menor biomassa de planta para produzirem uma mesma quantidade de grãos do que no ILP.

A produção de biomassa pelas culturas depende da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada e absorvida pelas folhas, bem como da eficiência com que essa radiação é convertida em energia química através da fotossíntese (Radin, et al., 2003). Sabe-se que em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, o sombreamento provocado pelas árvores pode influenciar no desenvolvimento da lavoura intercalada, principalmente no milho.

Assim, as plantas de milho em V4 foram significativamente maiores no sistema de ILP com N em cobertura no milho ($1,35 \pm 0,04$ m), seguido do ILPF sem N ($1,21 \pm 0,02$ m). Visto que o milho não tolera alto sombreamento, por ser uma planta C₄, o efeito da copa das árvores pode ter influenciado nos resultados (Reynolds et al., 2007). Períodos parciais do dia em que as árvores bloqueiam a passagem da luz solar, podem afetar o crescimento do milho, resultando em plantas de menor estatura em comparação ao ILP, que está exposta a luz solar durante o todo o período de tempo.

A combinação entre os componentes de rendimento, isto é, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e o peso de 1.000 grãos afeta a produtividade do milho. Tanto o número de fileiras, como o número de grãos por espiga e o peso de 1.000 grãos foram

maiores no ILP do que no ILPF. Além disso, no ILP, valores ligeiramente superiores para o número de grãos por fileira foram observados no tratamento com adubação de base. Weismann (2008) cita que a deficiência de N pode afetar severamente o número de fileiras de grãos nas espigas e a produção potencial da cultura.

Portanto, a produtividade do milho foi afetada pelas árvores com 3 anos de idade, apresentando valores (Tabela 4) abaixo de 9.907 kg ha^{-1} , valor médio registrado no Estado do Paraná para a safra 2022/23 (SEAB, 2023). O histórico de cultivo da área e o rápido crescimento do eucalipto, reduzindo a disponibilidade de luz, podem ser as causas deste resultado. Na fase silviagrícola, a presença do componente arbóreo cobrindo parcialmente a área que interage com o componente lavoura, produz um efeito que é regido pelo equilíbrio dinâmico entre competição e facilitação (Gea-Izquierdo et al., 2009).

Foi observada uma resposta em termos de rendimento do milho à fertilização adicional com NPK na fase de cultivo, mas apenas em sistemas de ILP. É preciso ressaltar que a semeadura tardia do milho, pode ter comprometido a estratégia de adubação de sistema, uma vez que as poáceas anuais de inverno estavam no final do seu ciclo, combinação de estrutura com qualidade química que provavelmente resultou em menor qualidade do resíduo da pastagem.

Não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) na produtividade entre as doses de N, tanto em relação às diferentes doses aplicadas na pastagem, quanto nas doses aplicadas no milho em cobertura. Então, em outras palavras, nenhuma resposta do milho à adubação nitrogenada adicional na fase de cultivo foi observada em ambos os SIPA. Maccari et al. (2021) relataram que o milho não respondeu ao N aplicado em cobertura após uma pastagem de inverno fertilizada com 200 kg N ha^{-1} . A quantidade total de N aplicada na fase pastagem no tratamento com 50 kg N ha^{-1} em cobertura, isto é, 85 kg de N/ha , provavelmente combinada com a ciclagem de nutrientes, pode ter fornecido um nível de nutrição de N não limitante. Em outras palavras, a concentração de N, P e K mantidas no solo, foram suficientes para atingir o nível de produção.

O tratamento ILP com adubação de base apresentou maior produtividade em grãos ($10.050 \text{ kg ha}^{-1}$), também apresentou menor concentração em N nas plantas de milho em estágio V4. Portanto, é provável que um efeito de diluição do N tenha ocorrido. Lunjing et al. (2020), Zhou et al. (2020) e Maccari et al. (2021) encontraram comportamento de diluição de nutrientes semelhante para plantas de milho.

2.7 CONCLUSÕES

O sistema ILPF produziu 33% menos milho do que o ILP. Não houve resposta à adubação de base no sistema de ILPF. Também, não houve resposta, em termos de produtividade, à adubação nitrogenada em cobertura feita no milho, independente do sistema, bem como ao aumento da adubação nitrogenada em cobertura no pasto. A maior produtividade de milho foi obtida no ILP, com resposta à adubação de base suplementar. O atraso na semeadura do milho prejudicou a eficiência da adubação de sistema, pois a cultura foi plantada sob resíduos de baixa qualidade, necessitando dos nutrientes da adubação de base.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, José Vieira Alves; EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Fisiologia do milho. **EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL–EMBRATER. Cultura do milho. Brasília: EMBRATER**, p. 7-12, 1983.

BISSANI, C.A.; GIANELO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. Nitrogênio e Adubos nitrogenados. In: BISSANI, C.A.; GIANELO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. (Ed.) **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 145–168.

BRIAT, J. F.; GOJON, A.; PLASSARD, C., ROUACHED, H., LEMAIRE, G. Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. **Eur. J. Agron.** 116. 2020. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126069>.

CARPINELLI, S. et al. Temporal distribution of cattle dung and nutrient cycling in integrated crop-livestock systems. **Agronomy**, v.10, n.5, p.672, 2020.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 15 de dezembro de 2016.(Abre a página do IDR, mas não mostra este conteúdo!)

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C.; FANCELLI, A. L.; COSTA, J. D. Partição de fitomassa e limitações do rendimento de milho (*Zea mays* L.) relacionadas com a fonte dreno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 4., Fortaleza, 1993. Resumos. Fortaleza, SBFV; UFCE, 1993. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, 5(1):1-120, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Produção de Informação**. p. 306, 2006.

ESKANDARI, H.; GHANBARI, A.; JAVANMARD, A. Intercropping of cereals and legumes for forage production. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 1, n. 1, p. 07-13, 2009.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba. Porto Alegre: Agropecuária, 2000.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Scielo Brasil. v. 32. n. 32. n. 4. p. 1549. 2008.

GEA-IZQUIERDO, G.; MONTERO, G; CANELLAS, I. Changes in limiting resources determine spatio-temporal variability in tree-grass interactions. **Agroforestry Systems**, n. 76, p. 375-387. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9211-4>.

JANOWIAK, F.; LUCK, E.; DÖRFFLING, K. Chilling tolerance of maize seedlings in the field during cold periods in spring is related to chilling induced increased in abscisic acid level. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 189. p.156-161, 2003.

KAGIMURA, L. T. **Adubação de Sistemas: Antecipação de nitrogênio e potássio em solos arenosos e argilosos**. 2022. 130p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

KORB, D. V. et al. **Adubação de sistemas para a cultura do milho em sistema integrado de produção agropecuária**. 2023. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos.

LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping: a review. v. 39. n. 27. p. 1-13. 2019

MACCARI, M. **A altura do dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?** 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Pato Branco, PR, 2016.

MACCARI, M.; ASSMANN, T. S.; BERNARDON, A.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS A.; BORTOLLI, M. de; BORTOLLI, B. B. de; GLIENKE, C.L. Relationships between N, P, and K in corn biomass for assessing the carryover effects of winter pasture to corn. **European Journal of Agronomy**, v. 129, p. 126317, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126317>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, Piracicaba: Potafos, p. 319, 1997.

PAVINATO, P. S. Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná. Curitiba: SBCE/NEPAR. Acesso em: 20 jul. 2024. 2019.

PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. In: PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Relatórios de safra. Paraná: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>. Acesso em: 06 jul. 2023.

PERIN, A., LOSS, A., PEREIRA, M.G., GIÁCOMO, S.G., & ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n.10, p. 1269-1276, 2011.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MOLETTA, J. L.; PONTES, L. S.; OLIVEIRA, E. B.; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. C. F. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 67-76, 2012.

REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J. A.; THEVATHASAN, N. V.; ANDREW, M. G. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in Southern Ontario, Canada. **Ecological engineering**, Guelph, Canadá, v.29, n 4, p.362-371, abr. 2007.

RHEINHEIMER, D.S., GATIBONI, L.C., KAMINSKI, J. Factors affecting the phosphorus availability and the fertilization management in no-tillage system. **Cienc. Rural** **38**, 576–586. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. T.; GARCIA, C. M. P.; ADREOTTI, M. Adubação com KCL revestido na cultura do milho no Cerrado. Campina Grande, PB: Ver. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2 p.127-133, 2014.

RADIN, B. et al. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2003, 38: 1017-1023.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL, <https://www.R-project.org/>

RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL, <http://www.rstudio.com/>.

SANDINI, I. E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n. 8, p. 1315–1322, ago. 2011.

SILVA, A. A. da. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 928–935, Jul. 2007.

STONE, P.J.; SORENSEN, I.B.; JAMIESON, P.D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.63, p.169-178, 1999.

SOUZA, P. H. N. S. et al. Efeito da profundidade de semeadura na emergência e distribuição longitudinal do milho (*Zea mays*) em sistema de plantio direto. **Embrapa**. 2013. Disponível em: < <https://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosafrinha2013/PDF/49.pdf> >. Acesso em: 20 dez. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Nutrição Mineral**. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722p. Cap.5: Nutrição mineral. p.96-101.

TONUCCI, R. G; GARCIA, R.; GOBBI, K. F. Sistema Agrossilvipastoril Integração lavoura, pecuária e floresta. **Sociedade de Investigações Florestais**, Minas Gerais p. 123-166, 2010.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011.

WEISMANN, M. **Fases de desenvolvimento da cultura do milho**. In: Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno 2008. Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, 2008. cap. 4, p. 31 – 38.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A. N., TREMBLAY, N., NOLIN, M. C., & CLAESSENS, A. Relationship between P and N concentrations in corn. *Agronomy Journal*. V. 99. n. 3. P. 833-841. 2007. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0199>.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; LEFEBVRE, L.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; PARENT, L.É. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. **Agronomy. Journal**. v. 102. n.1. p. 241–250. 2010. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0266>.

ZHOU, B.; NIU, X.; ATA-UI-KARIM, S. T.; WANG, L.. DUAN, A.; LIU, Z.; LEMAIRE, G. Determination of the post-anthesis nitrogen status using ear critical nitrogen dilution curve and its implications for nitrogen management in maize and wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 113. 2020.

CAPÍTULO 3 – EFEITO DAS ÁRVORES, DOSES DE NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NA LUCRATIVIDADE DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, muitas regiões do mundo estão enfrentando restrições na expansão de áreas para produção de alimentos (FAO, 2015). O Brasil, por sua vez, destaca-se como um dos principais países com terras agricultáveis disponíveis, assumindo um papel crucial como fornecedor global de alimentos (Elejalde, 2023). Considerando o potencial do país nesse sentido e as vantagens dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), tais sistemas emergem como principal alternativa para atender à crescente demanda por alimentos de forma sustentável sem a necessidade de abrir novas áreas para produção (FAO, 2010).

De acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – ABIEC (2023), o Brasil ocupou a segunda posição mundial como produtor de carne bovina, com 10,79 milhões de toneladas equivalentes de carcaça. O crescimento do rebanho, comparado a anos anteriores, é pelo fato da pecuária brasileira ter seu rebanho principalmente criado a pasto, o que garante o título de boi verde ou “*grass feed beef*”, considerado mais saudável e, portanto, apresentando-se como um forte componente na conquista de mercados mais exigentes (Peixoto, 2023).

Porém, segundo dados do MAPBIOMAS (2022a), 52% das áreas de pastagens no Brasil apresentam algum nível de degradação. Como consequência, há menor produção de forragem, menor capacidade de suporte, queda no desempenho animal, perda da produtividade e, como resultado, redução da receita, além de aumento dos custos produtivos (Carlos et al., 2022).

Frente a isso, a implementação dos SIPA tem se mostrado uma alternativa viável para tornar a produção mais sustentável, tanto economicamente quanto ecologicamente (Bernardi et al., 2007; Moraes et al., 2018). Os SIPA agregam vários componentes em um mesmo espaço de forma sinérgica. Por exemplo, em sistemas agrossilvipastoris, a inclusão de árvores em áreas com pastagens proporciona uma melhoria no microclima, sombra e conforto térmico para o animal e, futuramente, renda ao produtor com a venda de madeira (Oliveira, 2018), além da melhoria na ciclagem de nutrientes, reestruturação do solo, melhorando a produtividade agrícola e animal com menores custos com insumos (Nie et al., 2016; Carvalho et al., 2018; Costa et al., 2018). Portanto, os SIPA favorecem a utilização mais efetiva de todos os fatores

bióticos e abióticos de produção, aumentando, assim, a produtividade e a rentabilidade (Lima & Gama, 2018; Soares et al., 2018).

No Brasil, principalmente na região sul, o clima favorece a implantação de SIPA, pois permite o cultivo de culturas durante o verão, como soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea Mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) e no inverno tem-se a possibilidade de implantar forrageiras de alta qualidade como aveia (*Avena* spp.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), que servem tanto para a produção animal quanto para a cobertura do solo (Deifeld, 2018).

As plantas de cobertura são relevantes para o bom funcionamento dos sistemas agrícolas (Deifeld, 2018). Porém, muitas vezes, o agricultor não consegue obter lucros diretos com esta prática, o que causa desestímulo. Neste quesito a inserção de animais dentro do sistema pode melhorar a eficiência do investimento, através da intensificação do uso da terra (Carvalho et al., 2011), gerando outra fonte de renda ao agricultor. Pontes et al. (2021) avaliaram a rentabilidade a longo prazo dos sistemas de integração lavoura-pecuária e de integração lavoura-pecuária-floresta. Os autores observaram que a partir do momento em que os sistemas integraram a produção animal a pasto na estação de inverno, o sistema de integração lavoura-pecuária sempre foi lucrativo.

Contudo, atualmente, ainda existem alguns paradigmas, entre eles sobre a presença dos animais causar malefícios aos SIPA, como compactação do solo e baixa taxa de cobertura, pois o animal se alimentaria das plantas de cobertura, restando pouco resíduo (Anghinoni; Carvalho; Costa, 2013). Além disso, a adubação das pastagens não é uma prática frequente. Para que os SIPA sejam realmente eficientes é necessária uma visão global deste modelo (Balbinot Junior et al., 2009). Neste sentido novas estratégias de manejo devem ser exploradas e um ponto essencial é a melhoria na eficiência no uso de fertilizantes, barateando os custos de produção e reduzindo possibilidades de contaminação ambiental, o que pode impactar diretamente no rendimento das culturas e nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Cardoso et al., 2022).

Dentro deste contexto, a adubação de sistemas destaca a importância da aplicação de nitrogênio (N) e demais nutrientes durante a fase pecuária do SIPA (Olivio, 1982; Alvim; Botrel; Salvati, 1989). Por exemplo, a aplicação de nitrogênio durante a fase com pastagem, revela-se uma alternativa atrativa devido ao aumento potencial na produção de forragem e, consequentemente, animal, além de garantir a nutrição da cultura subsequente por meio do efeito residual, podendo até dispensar a aplicação de nitrogênio após a pastagem, mesmo em culturas altamente demandantes de nutrientes, como o milho (Assmann, 2001; Sandini et al., 2011).

A adubação na fase com pastagem tem garantido níveis adequados de nutrientes para as plantas de culturas sucessoras, desde os estágios iniciais, resultando em boas produtividades (Bortoli, 2016; Macari, 2016; Tatto, 2017; Aiolfi, 2018). Apesar de tornar as áreas mais produtivas no inverno e de registrar um aumento crescente nos últimos anos, os SIPA ainda não são amplamente adotados devido à falta de informação sobre sua rentabilidade. Isso ocorre porque envolve a produção de mais de um elemento na mesma área, o que dificulta a compreensão dos fatores econômicos envolvidos (Martinellia et al., 2019). É essencial que o produtor administre eficientemente as variáveis sob seu controle, uma vez que não pode controlar o preço do produto.

Portanto, analisar uma atividade agropecuária do ponto de vista econômico é crucial, pois permite ao produtor compreender os fatores de produção e utilizá-los de maneira inteligente, tornando seu produto mais competitivo devido aos menores custos de produção (Oliveira Júnior, 2015). Santos e Lopes (2014) ressaltaram a importância de entender os custos de produção de cada componente do sistema, permitindo que o produtor avalie suas opções e identifique as áreas de oportunidade e os desafios. Essa análise informada é essencial para tomadas de decisão mais assertivas. Em relação aos sistemas que incluem árvores, os custos operacionais variam conforme a densidade de árvores na área. O investimento aumenta com a implantação e operação à medida que mais árvores são introduzidas no sistema (Trivelin, 2020; Oliveira et al., 2015).

Dubé et al. (2000) estudaram aspectos econômicos de um sistema agrossilvipastoril durante 10 anos, relatando que essa técnica é economicamente viável no Cerrado mineiro, porém, pelo menos 5% da madeira produzida tem que ser destinada para serraria e o restante para energia, com o corte das árvores em aproximadamente nove anos. A madeira proveniente do sistema ILPF deve ser preferencialmente encaminhada para serrarias, pois apresenta maior valor agregado em comparação com árvores destinadas à produção de lenha ou celulose (Pontes et al., 2021).

Diante das incertezas dos produtores sobre a parte econômica do SIPA e os custos gerados pelos insumos, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise econômica de SIPA, com ou sem a presença de árvores e com distintas doses de N na pastagem de inverno, além de avaliar de estratégias de adubação e seu impacto na cultura do milho.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Descrição do local

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo (latitude: 25°07' 22" S; 50°03' 01" W; altitude média: 953 m), do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-Emater, em Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, região Centro-Sul do Estado do Paraná.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima local da região é subtropical úmido, tipo Cfb, subtropical úmido mesotérmico, com verões brandos e inverno com geadas frequentes, com temperatura média anual de 17,6°C, com máximas e mínimas de 24,3°C e 8,5°C, respectivamente. A precipitação média anual situa-se entre 1600 e 1800 mm, distribuídos no decorrer do ano (Caviglione et al., 2000). O solo da área experimental, é classificado como Cambissolo Háplico Distrófico típico, A moderado, textura média e Latossolo Vermelho Distrófico típico, 4 a 9% de declividade, com 19%, 3% e 78% de argila, silte e areia nos 20 cm superiores, respectivamente. (EMBRAPA, 2006). Na Tabela 6 encontram-se os dados climáticos da região durante o período experimental.

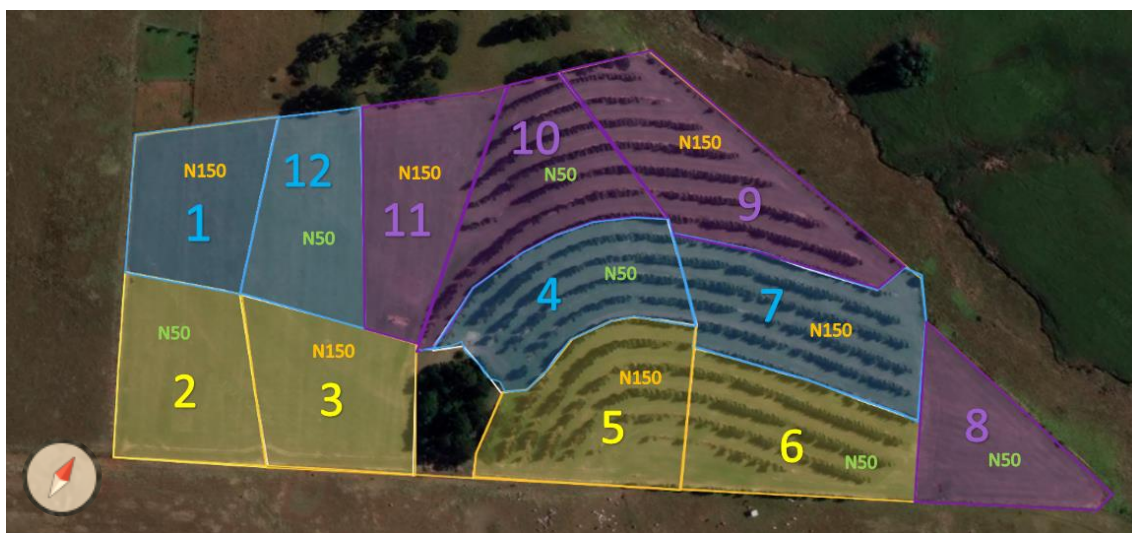
Tabela 6. Dados de precipitação pluviométrica (P) e temperatura (T) média durante o período experimental dos anos de 2022 e 2023, da cidade de Ponta Grossa, Paraná.

Mês	2022		2023		Média histórica	
	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Janeiro	201,4	22,1	123,8	21,5	162,3	21,4
Fevereiro	84,0	23,0	210,4	21,1	156	21,4
Março	190,0	21,5	125,6	29,8	124,8	20,9
Abril	114,0	18,4	52,0	19,4	86,8	19
Mai	57,4	14,9	30,0	17,5	88,8	15,4
Junho	137,4	13,8	87,0	15,0	105,8	14,5
Julho	30,2	16,1	109,0	15,2	92	14,4
Agosto	147,2	14,4	86,6	16,2	79,6	15,4
Setembro	203,2	14,4	77,8	20,5	120,9	17,2
Outubro	164,2	18,4	314,4	20,0	172,4	18,7
Novembro	61,8	18,0	117,4	21,8	119,3	19,8
Dezembro	258,8	21,1	117	21,0	149,8	21

Fonte: Simepar

A área experimental compreende 13,07 ha⁻¹, divididos em 12 unidades experimentais (Figura 5), com dimensões variáveis de 0,862 ha⁻¹ até 1,438 ha⁻¹, sendo seis unidades no sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e seis unidades em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). As unidades experimentais foram individualizadas com auxílio de cerca elétrica (Figura 5).

Figura 4. Croqui da área experimental localizada na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.



Fonte: Foto aérea retirada do Google Earth e croqui elaborado pela Autora (2023).

Desde 2010, as culturas de soja (*Glycine max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.) são semeadas durante o verão e, no inverno, semeia-se pastagem anual de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) consorciada com azevém anual (*Lolium multiflorum* L.), as quais são cultivadas para cobertura do solo e pastoreio com bovinos de corte da raça Purunã. O método de pastoreio utilizado é de lotação contínua com carga variável (*put and take*), visando manter a altura do pasto em torno de 25 cm. O pastejo foi realizado por novilhas da raça Purunã, com idade média inicial de 15 meses (peso médio).

No inverno de 2022, a pastagem de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. cv. IPR 61) + azevém (*Lolium multiflorum* Lam. cv. BRS Ponteio) foi semeada em 26 de abril, com espaçamento de 0,17 m, com 60 kg de sementes de aveia ha⁻¹ + 20 kg de sementes de azevém ha⁻¹ e 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹. E em cinco de maio foi feita adubação em cobertura, usando 225 kg ha⁻¹ do formulado NPK 20-5-20 (45kg N ha⁻¹, 11,25kg P₂O₅ ha⁻¹ e 45kg K₂O ha⁻¹) e no dia 30 de maio foi feita adubação em cobertura com mais 80 kg de K₂O ha⁻¹. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada no dia 31 de maio de 2022 na fase de início do perfilhamento da pastagem, com 50 ou 150 kg de N ha⁻¹, em função dos tratamentos.

No dia seis de dezembro de 2022, procedeu-se a dessecação do resíduo da pastagem, com 1,2 L ha⁻¹ do herbicida, 3 L ha⁻¹ de glifosato, 300 mL ha⁻¹ de óleo mineral.

Nos dias sete, oito e nove de dezembro de 2022 procedeu-se a semeadura do milho,

híbrido 2401 PWU, com semeadora-adubadora de plantio direto. Juntamente com os procedimentos de adubação de base com 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 10-20-20 (35 kg N ha⁻¹, 70 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 70 kg K₂O ha⁻¹). Para isso, utilizou-se 5,3 sementes por metro linear, num espaçamento de 80 cm entre linhas, totalizando uma população de 62.000 plantas ha⁻¹.

No dia 11 de janeiro de 2023, quando o milho se encontrava no estágio V6, procedeu-se a adubação nitrogenada em cobertura, à lanço, utilizando-se ureia (46% de nitrogênio) como fonte, numa dosagem equivalente a 326,1 kg de ureia ha⁻¹, totalizando 150 kg de N ha⁻¹, exceto nas subsubparcelas do tratamento sem adubação nitrogenada.

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Na fase com pecuária, o delineamento experimental era de blocos ao acaso num esquema fatorial 2 x 2, isto é, presença de árvores (ILPF) e ausência de árvores (ILP) e duas doses de adubação nitrogenada em cobertura (50 x 150 kg de N ha⁻¹ para a pastagem de aveia-preta + azevém), com três repetições.

No verão, fase com a lavoura de milho, cada unidade experimental contou com duas subparcelas, sendo uma com adubação de base (CB), isto é, 350 kg ha⁻¹ do formulado N-P₂O₅-K₂O (10-20-20) e outra sem adubação de base (SB). Essa recomendação de adubação foi feita com base em análises de solos, em função da cultura do milho, respectivamente, visando a estratégia de adubação de sistemas, para produtividade esperada entre 13 a 16 ton/ha. Ainda, tais subparcelas foram divididas em subsubparcelas com nitrogênio (i.e., 150 de N/ha) e sem nitrogênio em cobertura.

3.2.3 Produção animal

No inverno de 2022, a produtividade animal foi determinada através da pesagem dos animais a cada 28 dias, após restrição de alimentos e água por 15 horas. Os animais adentraram a área experimental no dia 14 de junho de 2022, e permaneceram nesta durante 139 dias.

O ganho de peso médio diário (GMD) dos animais “*testers*” foi avaliado através da diferença de peso vivo entre pesagens sucessivas e o número de dias transcorridos. O ganho de peso por hectare foi determinado multiplicando-se o GMD pelo número de animais - dia/ha, sendo este, por sua vez, calculado pela contagem do número de animais que permaneceram na unidade experimental em cada dia multiplicado pelo número de dias de avaliação de cada período.

3.2.4 Produtividade do milho

Foi realizada a coleta de espigas em duas linhas de cinco metros lineares em cada subsubparcela no ILP e no ILPF, sendo que no ILPF tais coletas ocorreram em função das cinco distâncias das árvores. Ao total, foram coletadas 24 amostras no ILP (1 amostra por subsubparcela ou 4 amostras por unidade experimental x 6 unidades experimentais no ILP) e 120 amostras no ILPF (5 amostras por subsubparcela ou 20 amostras por unidade experimental x 6 unidades experimentais no ILPF). Posteriormente, as espigas foram debulhadas e pesadas, sendo o peso corrigido para 13% de umidade.

3.3 ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise econômica foram analisados os seguintes indicadores: receita, custo total de produção e lucro. Para o cálculo dos indicadores econômicos foi utilizado a metodologia descrita em Volsi et al. (2020). Em relação a produtividade animal, a receita considerou o ganho de peso vivo por hectare (multiplicado por 53% do rendimento de carcaça (Rezende et al., 2020), dividido por 15 (1@ = 15 kg) durante o período experimental.

As receitas foram calculadas pela multiplicação da produtividade das culturas ou da produção animal pelos respectivos preços de venda. Os preços de venda utilizados foram coletados a partir dos dados diários dos valores recebidos pelos produtores, da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB, 2022).

Para o cálculo de custo foram considerados os serviços e insumos envolvidos nos tratamentos culturais recomendados para os sistemas de produção. Foram também contabilizados outros custos inerentes ao custo de produção, tais como transporte interno e externo, mão de obra, assistência técnica, taxas, encargos e impostos. Para a obtenção dos custos dos insumos realizou-se um levantamento sobre o custo médio para todas as operações agrícolas e insumos relacionados às safras dos anos de 2022 a 2023, por meio dos preços pagos pelos produtores (SEAB, 2022).

Para estabelecer os custos operacionais (semeadura, pulverização, colheita e mão de obra), foram utilizados os coeficientes técnicos experimentais da estação onde o experimento foi conduzido. O coeficiente técnico, segundo Pontes et al. (2021), representa o tempo gasto na realização de cada atividade agrícola por ha ou por animal. Assim, os valores para operações agrícolas, manual e mecânico, bem como os insumos foram apresentados em hectares. O lucro foi calculado subtraindo o custo total de cada tratamento da sua receita.

Com o objetivo de converter valores nominais em valores cotacionados pelo dólar, todos os indicadores econômicos foram deflacionados para fevereiro de 2023.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análises de variância foram realizadas para os indicadores econômicos (receita, custo e lucratividade anual), considerando o modelo de parcelas subsubdivididas com o programa R (R Core Team, 2022), dentro do R Studio (RStudio Team, 2020), considerando as parcelas principais a combinação entre sistema (GL=1) e doses de N na pastagem (GL=1), as subparcelas o fator adubação de base com NPK e as subsubparcelas o fator adubação em cobertura com N no milho.

O fator bloco (GL=2) foi incluído como efeito aleatório e os demais como fixos. Foi utilizado modelo linear misto (lmer). Quando as interações entre os fatores não foram significativas, foram excluídas do modelo final. Em caso de efeito significativo para a interação, foi realizado o teste de comparação de médias (teste de Tukey a 5% de significância).

3.5 RESULTADOS

Em relação ao ganho por área para o desempenho animal no ano de 2022, em 139 dias de pastejo em aveia IPR-61 consorciada com azevém BRS-Ponteio, diferenças significativas foram observadas somente em relação aos sistemas ($P < 0,05$). No sistema de ILP foi observado maior ganho por área ($601 \pm 38,5$ kg de PV/ha) do que no sistema de ILPF ($378 \pm 16,2$ kg de PV/ha). As diferentes doses de nitrogênio não afetaram significativamente as variáveis de produção animal. Os dados para a produtividade do milho estão apresentados na Tabela 5 do capítulo um deste trabalho.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados das análises de variância (ANOVA), referentes ao ano agrícola de 2022/2023, para os indicadores econômicos.

Tabela 7. Resultado das análises de variância para as variáveis econômicas receita, custo e lucro do ano agrícola 2022 e 2023.

Variável	A	B	C	D	A x C	A x D	A x B x C	B x D	B x C x D	A x B x C x D
Receita	***	NS	***	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Custo	***	***	***	***	***	***	NS	NS	NS	NS
Lucro	**	NS	*	***	**	NS	NS	NS	NS	NS

A, Sistema (ILP x ILPF); B, doses de N no pasto (50 x 150 kg de N ha⁻¹); C, Com ou sem adubação de base (NPK) no milho; D, Com ou sem adubação em cobertura com N no milho; ***, P<0.001; ** P<0.01; * P<0,05; NS, não significativo.

Diferenças significativas entre os sistemas foram observadas para as variáveis receita, custo e lucro (Tabela 7), sendo as médias apresentadas na Tabela 8, onde é possível observar que todos os resultados foram inferiores para o sistema ILPF.

Tabela 8 - Médias ($\pm$ desvio padrão), para cada sistema, das variáveis econômicas obtidas em 2022/2023.

Variável	ILP	ILPF
Receita (US\$/ha)	2.776,8 $\pm$ 86,35	1.907,2 $\pm$ 32,45
Custo (US\$/ha)	2.651,3 $\pm$ 68,98	2.320,0 $\pm$ 55,19
Lucro (US\$/ha)	125,5 $\pm$ 68,98	-412,8 $\pm$ 55,68

ILP = Integração Lavoura-Pecuária; ILPF = Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

A receita (Tabela 9) foi significativamente (P<0,001) superior no tratamento com adubação de base, US\$ 2.475,1 $\pm$ 127,6 ha⁻¹, do que sem adubação de base, US\$ 2.222,0 $\pm$ 86,6 ha⁻¹. Não foram observadas diferenças significativas na receita em resposta ao N em cobertura, tanto no pasto quanto no milho. Houve interação significativa (P<0,001) entre os fatores sistemas e adubação de base para a variável receita, sendo as médias apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Médias ($\pm$ desvio padrão) para variável receita referente a interação entre sistemas (ILP x ILPF) e adubação de base no milho (zero x 350 kg de NPK ha⁻¹), obtidas no ano agrícola de 2022/2023.

	ILP	ILPF
Com adubação de base (US\$/ha)	3.010,1 $\pm$ 121,14	1.940,1 $\pm$ 36,75
Sem adubação de base (US\$/ha)	2.543,5 $\pm$ 81,31	1.871,3 $\pm$ 54,56

ILP = Integração Lavoura-Pecuária; ILPF = Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; N50 = 50 kg de N ha⁻¹ na pastagem; N150 = 150 kg de N ha⁻¹ na pastagem

O aumento da dose em N no pasto para 150 kg ha⁻¹ aumentou o custo que foi de US\$ 2.653,3 $\pm$ 63,3 ha⁻¹ em relação a menor dose de 50 kg ha⁻¹ de US\$ 2.332,0 $\pm$ 63,4 ha⁻¹. Também, a realização da adubação de base no milho aumentou o custo para US\$ 2.661,3 $\pm$ 63,0 ha⁻¹, enquanto o custo no tratamento sem base foi de US\$ 2.309,6 $\pm$ 59,8 ha⁻¹. Com adubação nitrogenada em cobertura no milho o custo foi de US\$ 2.650,4 $\pm$ 62,8 ha⁻¹ e sem adubação nitrogenada em cobertura no milho o custo foi de US\$ 2.320,9 $\pm$ 62,9 ha⁻¹.

Foi observada interação significativa ($P > 0,001$) para a variável custo entre sistemas e adubação de base no milho. O custo com adubação de base teve maior aumento no ILP (de US\$ 2.444,0 $\pm$ 80,7 ha⁻¹ para US\$ 2.858,7 $\pm$ 74,6 ha⁻¹, sem x com adubação de base, respectivamente) do que no ILPF (de US\$ 2.163,0 $\pm$ 67,2 ha⁻¹ para US\$ 2.463,94 $\pm$ 63,0 ha⁻¹).

Interação significativa ($P > 0,001$) entre sistemas e doses de N em cobertura no milho, também foi observada para o custo. O maior aumento no custo com a adubação nitrogenada ocorreu no ILP (de US\$ 2.464,2 $\pm$ 85,3 ha⁻¹ para R\$ 2.838,4 $\pm$ 79,0 ha⁻¹, sem x com N em cobertura, respectivamente) do que no ILPF (de US\$ 2.164,6 $\pm$ 69,2 ha⁻¹ para R\$ 2.462,4 $\pm$ 61,9 ha⁻¹, em x com N em cobertura).

Em média, enquanto o sistema ILP foi lucrativo o contrário foi observado no ILPF (Tabela 8). Entretanto, cabe ressaltar que não foi incluída a receita com a venda da madeira. Em relação a adubação de base, o maior prejuízo foi quando houve a adição de 350 kg de NPK (US\$ -186,2 $\pm$ 97, 9 ha⁻¹) do que sem essa adição (US\$ -87,6 $\pm$ 65,8 ha⁻¹). Em relação as doses de N aplicadas em cobertura no milho, o maior prejuízo foi observado no tratamento com 150 kg de N ha⁻¹ (US\$ -260,8 $\pm$ 81,2 ha⁻¹) do que sem N (R\$ -9,69 $\pm$ 79,8 ha⁻¹). Houve interação significativa para o lucro em relação aos sistemas e a adubação de base (Tabela 7), sendo as médias apresentadas na Tabela 10. O sistema de ILP foi sempre lucrativo, variando entre US\$ 99,5 ha⁻¹ a US\$ 151,5 ha⁻¹ (Tabela 10). O tratamento ILPF apresentou sempre prejuízo, variando entre US\$ -291,7 ha⁻¹ e US\$ -523,8 ha⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10 - Médias ($\pm$ desvio padrão) do lucro para a interação entre sistemas (ILP x ILPF), doses de N aplicadas na pastagem (zero e 150 kg de N ha⁻¹) e com ou sem adubação de base no milho.

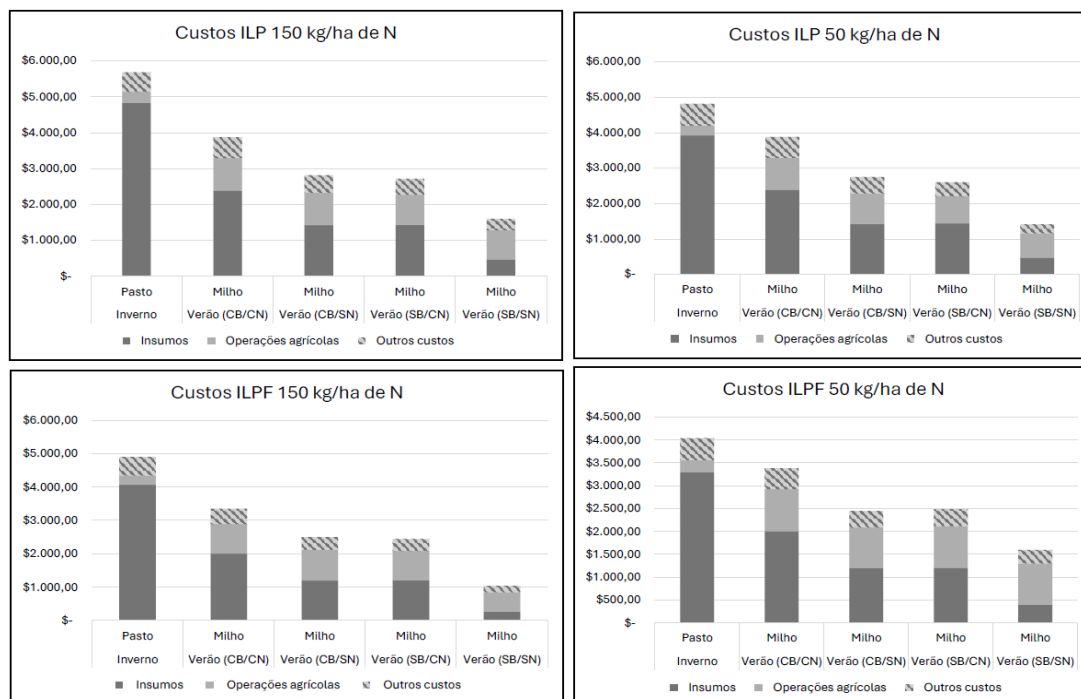
	ILP	ILPF
Com adubação de base (US\$/ha)	151,5 $\pm$ 125,77	-523,8 $\pm$ 59,33
Sem adubação de base (US\$/ha)	99,5 $\pm$ 62,64	-291,7 $\pm$ 84,91

ILP = Integração Lavoura-Pecuária; ILPF = Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; N50 = 50 kg de N ha⁻¹ na pastagem; N150 = 150 kg de N ha⁻¹ na pastagem

Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 6, é apresentado o detalhamento do custo, em todos os tratamentos. Cabe ressaltar que os fertilizantes foram responsáveis por grande parte do custo de produção, representando 64,2%, particularmente o N, o qual correspondeu a 15%. O maior custo ocorreu sempre no inverno na fase com pastagem, particularmente no tratamento com maior dose de N no pasto. Na fase pastagem, os maiores custos podem ser atrelados ao fato de que os insumos foram utilizados pensando nos níveis de produtividade do milho, em torno de 13 a 16 toneladas/ha, isto é, na cultura de maior exigência do sistema. No verão, os custos foram, portanto, superiores nos tratamentos com maior uso de insumos (i.e., com adubação de base e adubação nitrogenada em cobertura no milho, Figura 6).

Figura 5 - Custos por área (US\$/ha) observados em relação aos tratamentos nos sistemas ILP e ILPF sob duas doses aplicadas na pastagem, isto é, 50 kg de N ha⁻¹ e 150 kg de N ha⁻¹.



fonte: Elaborado pela Autora (2023).

3.6 DISCUSSÃO

No ano agrícola de 2022/2023, o sistema ILP foi mais lucrativo que o sistema ILPF, pois tanto a produção animal quanto de milho foi superior em tal sistema em relação ao ILPF. Entretanto, cabe ressaltar que a venda da madeira não foi computada no lucro para tal sistema. O rápido crescimento do eucalipto, que gerou um nível de restrição de luz de 34,5% no pasto em 2022 e 25% no milho 2022/2023 no ILPF afetou a produtividade das culturas intercalares e, consequentemente, a lucratividade do sistema.

O milho é uma cultura com alta demanda pela fertilidade do solo e altamente responsiva à produtividade de grãos com aplicação de fertilizantes. Por ser uma planta C₄, o milho é altamente responsivo a adubação nitrogenada e possui alta capacidade de conversão de energia luminosa em biomassa (Maccari, 2016). Com isso à medida que essas plantas ficam saturadas de luz sob condições de plena luz solar (Reynolds et al., 2007), ligeiras reduções no nível de luz influenciam na taxa fotossintética, diminuindo a produtividade. Além disso, a luz não é o único recurso que varia nos sistemas ILPF, com a água, os nutrientes e provavelmente as propriedades biofísicas do solo também influenciando a produtividade e o desenvolvimento das plantas (Reynolds et al., 2007; Jose et al., 2017).

Independentemente do tratamento, o maior custo foi com os insumos (Figura 6), com importante participação do nitrogênio. Nas condições experimentais, para o sistema de ILPF, as doses de 150 kg de N ha⁻¹ utilizadas, tanto no pasto como em cobertura no milho, não refletiram em maior lucro, pelo contrário, aumentou o prejuízo, já que esse insumo compõe grande parte do custo de produção e porque não efetivou em maiores produtividades.

Simili et al. (2008) afirmaram que a variabilidade do solo também afeta a resposta da cultura frente às doses de N, o que pode ter contribuído para os níveis mais baixos de N aplicados na pastagem no presente estudo, combinados com a ciclagem de nutrientes dos SIPA, terem proporcionado um nível de nutrição de N adequado para o nível de produtividade atingido.

Em relação a análise econômica, em termos de produtividade, não foi observada resposta no sistema ILPF à fertilização adicional com NPK na fase de cultivo no verão. Farias et al. (2020) comentam que, quando todos os nutrientes foram aplicados durante o estabelecimento da pastagem, foram mantidos no solo e facilmente obtidos pelas plantas de soja, sem impacto negativo na produtividade da soja.

Já o oposto foi observado para o sistema ILP que respondeu a fertilização adicional com NPK, independente da dose de N anterior. Tal resposta foi refletida na lucratividade do sistema. O sistema mais rentável foi o sistema ILP com 50 kg de N/ha e com adubação de base. Nas condições do presente estudo, em SIPA bem estabelecido, menores doses de N no pasto aliadas à ciclagem de nutrientes e adubação de base já permitiram maiores produtividades da cultura em sucessão.

Essa produtividade foi superior à média de 9.907 kg ha⁻¹, conforme registrado no Estado do Paraná pela SEAB para o ano safra 2022/23, portanto, os resultados do ILP demonstraram produtividade superior à média do estado, superando média de produtividade brasileira de 6.110 kg ha⁻¹ (SEAB, 2023).

Para melhorar o lucro nos sistemas de ILPF, os agricultores podem procurar iniciativas que agreguem valor aos produtos derivados dos sistemas ILPF, como selos de Carne Carbono Neutro (CCN) ou Carne Baixo Carbono (CBC). De acordo com Martha et al. (2006), em uma análise de viabilidade é importante quantificar as vantagens do ILPF como a redução de emissão de metano pelos animais, capacidade de mitigação de carbono, aumento de matéria orgânica no solo e eficiência do uso de insumos.

3.7 CONCLUSÃO

O sistema ILP com dose prévia de 50 kg de N/ha na pastagem e com adubação de base no milho foi o tratamento mais lucrativo, com níveis de produtividade em torno de 10 t ha⁻¹ de milho. O aumento da dose de N, tanto no pasto como em cobertura no milho, reduziu o lucro, independente do sistema, já que esse insumo compôs grande parte dos custos de produção.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A.; SALVATI, J. A. Métodos de estabelecimento de brachiaria decumbens em associação com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 18, n. 5, p. 417–425, 1989.
- ANGINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtrópico brasileiro**. In: ARAUJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. (Ed). Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: UFV. v. 8. p. 221 – 207. 2013.
- ASSMANN, T. S. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. 63 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Beef report. A pecuária mundial 2022. São Paulo: ABIEC, 2022. 14p.
- ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTEA, T.; ASSMANN, A. L.; MORAES, A.; ALVES, S. A. **Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária**. In: SOUZA, E. D. et al. (eds.) *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, 2018.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.
- BORTOLLI, M. A. **Influência de diferentes períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária**. 81 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2010.
- CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; CARLOS, S. M.; ASSAD, E. D.; ESTEVAM, C. G.; DE LIMA, C. Z.; PAVÃO, E. M.; PINTO, T. P. **Custos da recuperação de pastagens degradadas nos estados e biomas brasileiros**. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getulio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. 2022.
- CARVALHO, P. C. F. et al. Produção animal e características do solo a partir de sistemas de integração lavoura-pecuária: em direção à intensificação sustentável. **J. Anim. Sci.** V. 96, p. 3513-3525. 2018.

CARVALHO, P. C.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; SILVA, F. D.; ASSMANN, J. M.; LOPES, M. L. T.; PFEIFER, F. M.; CONTE, O.; SOUZA, E. D. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. 60 p. 2011.

COSTA, M. P. et al. Uma análise socioeconômica de sistemas integrados e não integrados de lavoura-pecuária-floresta no Cerrado brasileiro com base na ACV. **J. Clean. Prod.** v. 171, p. 1460- 1471. 2018.

DEIFELD, F. C. **Produção animal e de grãos em sistema integrado de produção agropecuária**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de concentração: Produção vegetal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2018.

DUBÉ, F. et al. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com Eucalyptus sp. No nordeste de Minas Gerais: O caso da Companhia Mineira de Metais. **Revista Árvore**, Viçosa, Brasil, v. 24, p. 437-443, 2000.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of food insecurity in the world 2014, 57p., 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i4030e/i4030e.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. An international consultation on integrated crop livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. Rome: **FAO**, v.13, 72 p., 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i2160e/i2160e.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; CARVALHO, P. C. de F. O sistema integrado de produção agrícola-pecuária com abordagem de fertilização do sistema melhora a produção de alimentos e a eficiência no uso de recursos em terras agrícolas. **Agronomia para o Desenvolvimento Sustentável**, v. 40, p. 39, 2020.

JOSE, S.; WALTER, D.; KUMAR, B. M., 2017. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agrofor. Syst.** 93, 317–331. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>.

JÚNIOR, OLIVEIRA. O. L. et al. Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. **Archivos de zootecnia**, v. 65, n. 250, p. 203-212, 2016.

LIMA. M. C. D. & GAMA, D. C. O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: conceitos, desafios e novas perspectivas. **Agroforestalis News**. 3(1). 2018. Disponível em: <https://seer.ufs.br/index.php/AGRO/article/view/9752>.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agric. Ecosyst. Environ.** V. 190, p. 4–8. 2014.

MACARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?** 122 p. Tese

(Doutorado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2016.

MAPBIOMAS (2022a). **Projeto MapBiomas**: Coleção (v.6.0) da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em 21. fev. de 2024.

MARTHA JÚNIOR, G. B. et al. **Custos de produção em sistemas pastoris: efeitos da vida útil do pasto e da taxa de lotação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 128). 2006.

MARTINELLIA, G. C. et al. Reduzindo incertezas e revertendo paradigmas sobre o desempenho econômico dos sistemas agroflorestais no Brasil. **Política de Uso da Terra** 80, 274-286. 2019.

NIE, Z. et al. Benefícios, desafios e oportunidades de sistemas integrados de lavoura-pecuária e sua aplicação potencial na zona de alta pluviosidade do sul da Austrália: uma revisão. **Agric. Ecosyst. Environ.** V. 235, p. 17-31. 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, Orlando Lúcio. **Análise econômico-financeira da implantação de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras**. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, MT. 2015.

OLIVEIRA, P. D. et al. **Evolução de sistemas de integração lavoura pecuária floresta (ILPF): estudo de caso da Fazenda Santa Brígida**, Ipameri, GO. [S.l.]: Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E), 2015.

OLIVERA, F de. **Avaliação da ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária no subtropical brasileiro**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de concentração: Produção, nutrição de ruminantes e forragicultura) –Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018.

OLIVIO, C. J. Efeito de forrageiras anuais de estação quente e estação fria sobre a produção de leite. [S.l.]: UFSM. p. 108. 1982.

PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. In: PARANÁ (Estado). Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Relatórios de safra. Paraná: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>. Acesso em: 06 jul. 2023.

PEIXOTO, R. S. **Recuperação de pastagens degradadas, aproveitamento de palhadas e subprodutos agroindustriais na alimentação de bovinos de corte**. 44 f. TCC (Curso de Zootecnia), Universidade Católica de Goiás. (PUC-GO). Goiás, 2023.

PONTES, L. D. S. et al. Long-term profitability of crop-livestock systems, with and without trees. **Agricultural Systems**, v. 192, p.103204, 2021.

REN, HAO et al. Improving smallholder farmers' maize yields and economic benefits under sustainable crop intensification in the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 763, p. 143035, 2021.

REYNOLDS, P. E., SIMPSONB, J. A.; THEVATHASANB, N. V.; GORDON, A. M., 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecol. Eng.** 29, 362–371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.024>.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1315-1322, 2011.

SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. what should be considered to assess the effects of use and management on soil health **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

SANTOS, G.; LOPES, M. A. Custos de produção de fêmeas bovinas leiteiras do nascimento ao primeiro parto. **Cienc. Anim. Bras.** v.15, n.1, p. 11-19, 2014.

SOARES, A.B.; AIOLFI, R.B.; DE BORTOLLI, M.A.; ASSMANN, T.S. e ZATTA, A.C. **Produção animal e vegetal em sistemas integrados de produção agropecuária**. In: Anais do III Simpósio de Produção Animal a Pasto, NEPRU – Núcleo de Ensino e Pesquisa em Ruminantes, Dois Vizinhos, Paraná, 2015.

SOARES, A. B; MISSIO, R. L; SCHMITT, D; AIOLFI, R. B; DEIFELD, F. L. C. Componente animal em sistemas integrados de produção agropecuária. In: Souza, E. D., SILVA, F. D; ASSMANN, T. S; CARNEIRO, M. A. C; CARVALHO, P. C. F; PAULINO, H. B. (ed). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil** (1a. ed., pp.187-210). 2018. Tubarão: Copiart.

TATTO, W. H. **Altura de pasto e adubação nitrogenada afetam os atributos físicos do solo, palatabilidade e produtividade da soja no sistema de integração lavoura pecuária?** 196 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2017

TRIVELIN, G. A.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; LUZ, P. A.; BERNARDES, E. M.; LUPATINI, G. C. Animal production and economic viability of integrated crop livestock systems. **International Journal for Innovation Education and Research**, 8, 530-540. 2020.

VOLSI, B. ; HIGASHI, G.E. ; BORDIN, I. ; TELLES, T.S., 2021. Production and Profitability of diversified agricultural systems. **An. Acad. Bras. Cienc.** 93, e20191330. 2021.

CAPÍTULO 4 – IMPACTO DA PRESENÇA DE ÁRVORES E DE DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO DE ANIMAIS SOB PASTEJO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

4.1 INTRODUÇÃO

Conforme dados obtidos pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (2022), atualmente o Brasil apresenta um rebanho de 202,78 milhões de cabeças, sendo que 42,31 milhões de animais foram abatidos no país e deste total estima-se que 18,20% sejam animais oriundos de confinamento (ABIEC, 2022).

Esses dados permitem estimar que 81,8% da carne produzida é oriunda da produção realizada em pastejo. Entretanto, os animais de confinamento iniciam a terminação com, em média, 80% de seu peso de abate, parcela esta produzida durante as fases de cria e recria em condições de pastejo (Santos e Martuscello, 2022). Dessa maneira, os sistemas de produção de carne bovina a pasto representam aproximadamente 96,4% do total de carcaça produzida no Brasil. Segundo a Bolfe et al. (2024), de 177 milhões de hectares de pastagem, 109,7 milhões apresentam algum nível de degradação, ou seja, cerca de 60% do total das pastagens está degradada.

Isso compromete a segurança alimentar, pois diminui a eficiência produtiva dos animais, além de afetar o meio ambiente pelas emissões de gases de efeito estufa (Michalk et al., 2019), aliado a isso, também inclui a erosão do solo, assoreamento de cursos naturais d'água, solo descoberto e compactado, levando a degradação das pastagens. A degradação é ainda mais agravada, pois há uma crença que adubação de pastagens é cara e muitas vezes inviável, sendo comum, com o esgotamento da fertilidade do solo, uma cíclica substituição de espécies forrageiras menos exigentes e de menor valor nutritivo, caminhando assim para um processo de degradação (Lustosa et al., 2011). Outro problema, em propriedades onde o manejo da pastagem não é realizado de forma correta, é a redução do aporte de palhada a quase zero devido ao excesso de carga animal, gerando problemas de compactação e tornando áreas improdutivas (Assmann; Pin, 2008).

Considerando a adversidade da degradação de áreas de pastagens e a necessidade de garantir a segurança alimentar, os SIPA estão sendo globalmente indicados para debelar tal situação pela inserção de espécies agrícolas e/ou arbóreas (Lemaire et al., 2014; Moraes et al., 2018). Esse método de produção é capaz de potencializar o ciclo de nutrientes nas fases pecuárias, recompor a estrutura do solo, intensificar a produtividade dos grãos e dos animais com um mínimo aumento no consumo de insumos (Carvalho et al., 2018).

A participação animal beneficia o sistema, pois quando a forragem é submetida a desfolha pelos animais, a sua produção de biomassa é elevada, além do fato de o animal retirar do pasto os nutrientes necessários para seu desenvolvimento e posteriormente repô-los por meio de suas fezes/urina. Isso torna a camada superficial do solo rica em matéria orgânica, incrementando o rendimento das demais culturas e tornando a área produtiva durante todo o ano (Carpinelli et al., 2021; Costa et al., 2014). Além disso, em SIPA arborizados, há um aumento na eficiência de utilização dos nutrientes, quando em comparação com lavouras e/ou pastagens tradicionais e sem o componente arbóreo (Xavier; Carvalho; Alvim, 2003).

Em sistemas naturais, o componente arbóreo promove aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes no solo (Xavier; Carvalho; Alvim, 2003). Assim, as árvores podem aproveitar nutrientes de camadas mais profundas do solo e através da ciclagem biogeoquímica, tornam esses nutrientes disponíveis nas camadas superficiais (Karam et al., 2013), proporcionando melhoria na fertilidade do solo (Xavier; Carvalho; Alvim, 2003). Além disso, a presença do componente arbóreo pode afetar a velocidade de decomposição do resíduo pelo fato de proporcionar alterações microclimáticas no ambiente (Karam et al., 2013).

A aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) é uma das espécies que apresenta maior potencial para produção de forragem, contribuindo significativamente para a produção animal na região Sul do Brasil (Postiglioni, 1996). O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) é uma gramínea anual de ciclo hibernar, cespitosa que tem alta capacidade de perfilhar, cujo rendimento varia de sete a nove toneladas de matéria seca por hectare por ano (Keplin, 1996). Em função do desenvolvimento tardio do azevém e da precocidade da aveia preta, a consorciação dessas gramíneas forrageiras de inverno é muito utilizada por apresentarem nesse período alta produção de forragem (Moraes et al., 2002; Soares & Restle, 2002), melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas dos diferentes solos, pelo fato de promover cobertura contínua do solo, além do uso dessas gramíneas em sistemas de pastejo permitir a terminação de animais com baixo custo (Alves et al., 2006).

Dentre os nutrientes necessários para planta, o nitrogênio é importante quando se busca obter altas produtividades, pois quando absorvido, aumenta o número de células em divisão e estimula o alongamento celular (Schnyder et al., 2000), acelerando, desse modo, as taxas de crescimento e o desenvolvimento da planta (Martuscello et al., 2005; Martuscello et al., 2006). Logo, a aplicação de nitrogênio é uma das formas rápidas de incrementar a produtividade dos pastos, principalmente quando a forrageira é responsiva á adubação (Martuscello et al., 2018)

A adubação nitrogenada nas poáceas aumenta a produção de massa de forragem, permitindo que a pastagem suporte maior carga animal (Assmann et al., 2008). Além disso, a

adubação nitrogenada também é utilizada como uma forma de antecipar o período de pastejo, diminuindo o vazio forrageiro de outono (Maccari, 2016). Portanto, pode ser uma importante estratégia para aumentar o aporte de biomassa e, consequentemente, proporcionar resíduos em quantidade e qualidade suficientes para o sistema de plantio direto (Dubeux JR et al., 2014).

A maioria das espécies forrageiras apresenta uma resposta produtiva elevada, frente à maior disponibilidade de nutrientes, especialmente de nitrogênio. A deficiência desse componente limita o rendimento forrageiro de maneira expressiva, além disso, a adubação nitrogenada na fase pastagem contribui para o desempenho das culturas sucessivas em razão do aproveitamento do nitrogênio residual (Assmann et al., 2003; Balbinot JR et al., 2009).

Intensidade de luz e disponibilidade de N são importantes fatores influenciando o desenvolvimento de poáceas forrageiras. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar diferentes doses de N em distintos SIPA, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta, e seus impactos na produção animal.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Descrição do local

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo (latitude: 25°07' 22" S; 50°03' 01" W; altitude média: 953 m), no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-Emater, em Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, região Centro-Sul do Estado do Paraná.

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima local da região é subtropical úmido, ou Cfb subtropical úmido mesotérmico, com verões brandos e inverno com geadas frequentes, com temperatura média anual de 17,6°C, com máximas e mínimas de 24,3°C e 8,5°C, respectivamente. A precipitação média anual situa-se entre 1600 e 1800 mm, distribuídos no decorrer do ano (Caviglione et al., 2000). O solo da área experimental, é classificado como Cambissolo Háplico Distrófico típico, A moderado, textura média e Latossolo Vermelho Distrófico típico, 4 a 9% de declividade, com 19%, 3% e 78% de argila, silte e areia nos 20 cm superiores, respectivamente (EMBRAPA, 2006). Na Tabela 11 encontram-se os dados climáticos da região durante o período experimental.

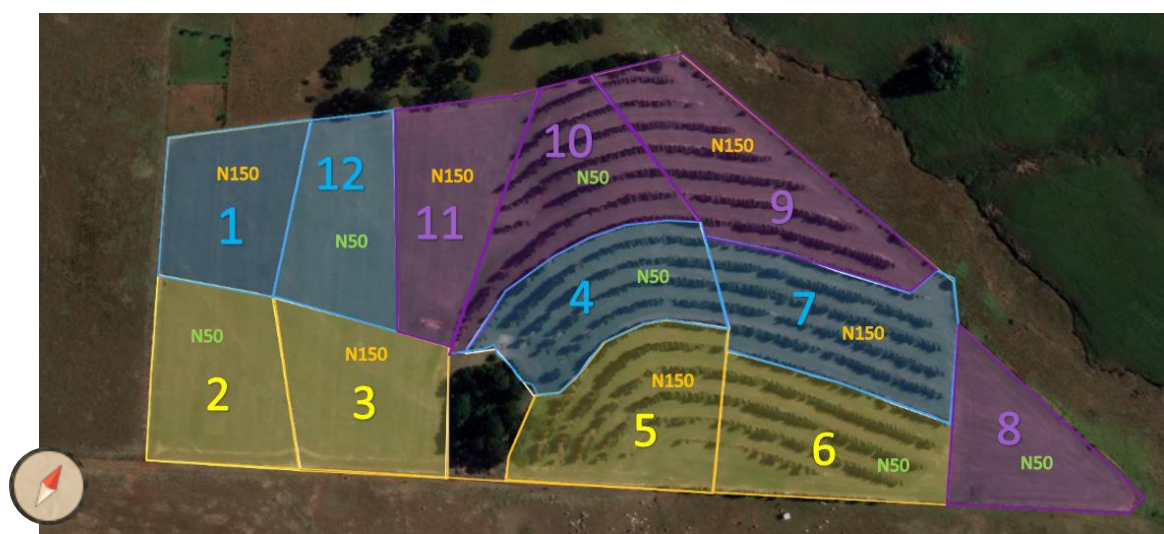
Tabela 11. Dados de precipitação pluviométrica (P), temperatura (T) e média histórica (1997-2023), durante o período experimental do ano de 2023, da cidade de Ponta Grossa, Paraná.

Mês	2023		Média histórica	
	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Maio	30,0	17,5	88,8	15,4
Junho	87,0	15,0	105,8	14,5
Julho	109,0	15,2	92	14,4
Agosto	86,6	16,2	79,6	15,4
Setembro	77,8	20,5	120,9	17,2
Outubro	314,4	20,0	172,4	18,7

Fonte: Simepar

A área experimental compreende 13,07 ha, divididos em 12 unidades experimentais (Figura 7), com dimensões variáveis (de 0,862 ha até 1,438 ha), sendo que 6,98 ha são conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e as outras 6 unidades em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). As unidades experimentais foram individualizadas com auxílio de cerca elétrica (Figura 7). Quatro tratamentos foram avaliados resultantes do cruzamento de dois fatores, presença x ausência de árvores e duas doses de adubação nitrogenada no inverno, 50 x 150 kg de N/ha, com três repetições.

Figura 6. Croqui da área experimental localizada na Estação de Pesquisa Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa. As distintas cores representam os três blocos. Os números (1 até 12) representam as unidades experimentais. Linhas que dividem as unidades experimentais indicam as divisões durante a fase de pastejo. N50: 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio; N150: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.



Fonte: Foto aérea retirada do Google Earth e croqui elaborado pela Autora (2023).

Desde 2010, as culturas de soja (*Glycine max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.) são conduzidas durante o verão e, durante o inverno, com pastagem anual de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) consorciada com azevém anual (*Lolium multiflorum* L.), as quais são

cultivadas para cobertura do solo e pastoreio com bovinos de corte da raça Purunã. O método de pastoreio utilizado é o contínuo, com novilhas da raça Purunã, com idade média inicial de 15 meses, como método de regulação de carga utilizou-se o método conhecido como “*put and take*” visando manter a altura do pasto em torno de 25 cm.

Em 2019 foi feito o plantio de árvores de eucalipto (*Eucalyptus grandis* clone GPC 23), dispostas em filas simples, com distância de 3 m entre árvores e 14 m entre linhas de árvores. Tais linhas foram equidistantes e dispostas transversalmente ao sentido da declividade do terreno para promover a diminuição do escoamento superficial da água das chuvas e para que o deslocamento de máquinas e de animais seja predominantemente transversal ao sentido da declividade do terreno (Porfírio-da-Silva et al., 2010).

Em razão das possíveis diferenças na incidência da radiação fotossinteticamente ativa entre renques arbóreos, cada unidade experimental no sistema arborizado foi dividida em cinco posições entre dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques) (Figura 8).

Figura 7. Posições de avaliação entre dois renques arbóreos (P1 e P5, adjacentes aos renques; P2 e P4, posições intermediárias e P3, a posição central entre dois renques) no sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Foto realizada após a implantação das culturas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb. cv. IPR 61) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam. BRS-Ponteio) durante o inverno de 2023.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Após a dessecação do resíduo de milho, a pastagem foi estabelecida entre os dias 29 de maio a 05 de junho de 2023, através do método de plantio direto, utilizando-se 80 sementes ha⁻¹ de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. cv. IPR 61) e 30 kg ha⁻¹ de sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam. BRS-Ponteio). Além disso, realizou-se a adubação nitrogenada no início do perfilhamento em duas doses, isto é, de 50 kg de N ha⁻¹ e 150 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia em cobertura. E em 12 de julho de 2023, realizou-se a adubação em cobertura com 50 kg de K₂O ha⁻¹.

Os animais adentraram a área experimental no dia 25 de julho de 2023, e permaneceram nesta durante 94 dias. O sistema de pastoreio utilizado foi o contínuo, com o uso da técnica “*put and take*”, descrita por Mott & Lucas (1952), para o ajuste da carga e manutenção de altura da pastagem de 25 cm (Carvalho et al., 2005), pelo uso de animais reguladores. Foram mantidos três animais “*testers*” da raça Purunã, novilhas com idade entre 8 e 10 meses, com 222,7 ± 39,2 kg de peso vivo inicial. Os ajustes foram realizados regularmente, baseados nas avaliações quinzenais de altura da pastagem.

4.3 COLETA DE DADOS

4.3.1 Ganho de peso médio diário, ganho de peso vivo por hectare e carga animal

Os animais foram pesados a cada 28 dias, após restrição de alimentos e água por 16 horas. As pesagens intermediárias contribuíram para orientar os ajustes de lotação necessários, bem como para o controle do desempenho animal. O ganho de peso médio diário (GMD) dos animais “*testers*” foi avaliado pela diferença de peso vivo entre pesagens sucessivas e o número de dias transcorridos. A carga animal (kg de PV/ha) foi calculada pela média ponderada do somatório dos pesos dos animais “*testers*” e “*put and take*” presentes em cada unidade experimental. O ganho de peso vivo por hectare foi determinado multiplicando-se o GMD pelo número de animais - dia/ha, sendo este, por sua vez, calculado pela contagem do número de animais que permaneceram na unidade experimental em cada dia multiplicado pelo número de dias de avaliação de cada período.

4.3.2 Componentes produtivos da pastagem

A altura da pastagem foi medida com o auxílio de uma régua graduada, a cada 15 dias, em 100 pontos por unidade experimental. A altura média da pastagem em cada unidade experimental foi utilizada na equação de calibração para estimar a massa de forragem. Para a calibração entre a altura e a massa de forragem, 5 amostras de 0,25 m² foram cortadas rente ao

solo, a cada 28 dias, sendo três amostras coletadas na rotina de determinação da taxa de acúmulo. Tais amostras foram separadas em lâminas, de bainha e colmos e material morto, para cada espécie (aveia preta e azevém).

A amostragem para a estimativa da taxa de acúmulo diário de matéria seca foi feita através da técnica do triplo emparelhamento (Moraes et al., 1990). Para tanto, foram utilizadas três gaiolas por unidade experimental de 1m³. A cada 28 dias, amostras de 0,25m² foram cortadas dentro e fora das gaiolas, ao nível do solo, secadas em estufa a 60°C até massa constante e pesadas. O acúmulo de massa de forragem, seja total ou de lâminas de folhas verdes, foi determinado por diferença, para cada componente, entre a massa obtida num instante dentro da gaiola (MF2) e a massa obtida no instante anterior fora da gaiola (MF1). Uma vez obtido o acúmulo de forragem, a taxa de acúmulo de forragem (TAF) foi calculada pela divisão do acúmulo de forragem pelo tempo decorrido entre as avaliações, ou seja: $TAF = (MF2 - MF1) / 28$ dias. A produção total de massa seca acima do nível do solo foi determinada pelo somatório das produções dos períodos, considerando o resíduo inicial no momento de entrada dos animais na pastagem.

A estimativa da oferta real de matéria seca foi obtida a partir da matéria seca disponível por dia, dividida pela carga animal média do subperíodo, sendo feito o mesmo tipo de cálculo para a oferta de lâminas verdes.

A proporção de folhas, foi determinada através de porcentagem, em que se realizou a soma dos valores obtidos das frações de folha de cada espécie forrageira, isto é, aveia-preta e azevém, este valor foi multiplicado por 100 e posteriormente, este resultado foi dividido pela quantidade total de todos os componentes vegetativos. Com os valores obtidos de proporção de folhas e a quantidade de forragem por hectare, estimou-se a massa de folhas. Para a estimativa de oferta de folhas, foi obtida a massa de folhas, dividido 28 dias. Este resultado foi adicionado a taxa de acúmulo da folha, multiplicado por 100 e posteriormente, dividido pela carga animal média durante o subperíodo.

A produção total de forragem foi determinada pelo somatório da massa de forragem inicial e as taxas e acúmulo de todos os períodos.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

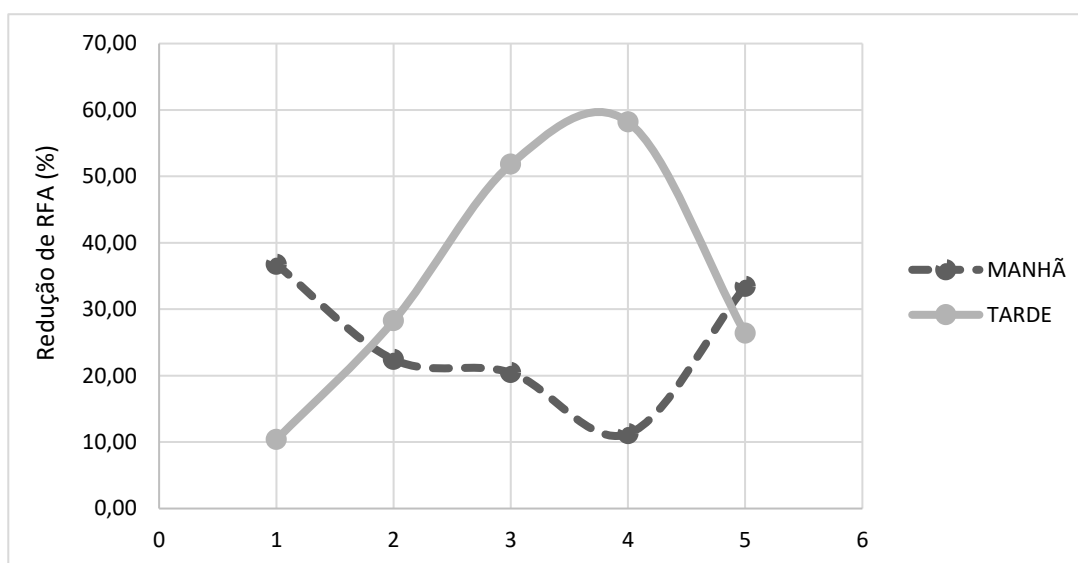
Os dados foram submetidos à análise de variância do efeito dos fatores bloco (GL = 2), sistemas (GL=1) e doses de N (GL = 1) utilizando-se o programa R, (R Core Team, 2022), dentro do R Studio (RStudio Team, 2020). O fator bloco e períodos foram incluídos como efeitos aleatório e os demais como fixos. Foi utilizado modelo linear misto (lmer).

Quando a interações entre os fatores não foi significativa, ela foi excluída do modelo final. As médias das variáveis dependentes, significativamente afetadas pelas variáveis independentes, segundo a análise de variância, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4.5 RESULTADOS

A Figura 9 mostra a redução percentual distinta da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em cada uma das posições descritas na Figura 8. A diminuição da RFA no sistema arborizado foi de 30%, em média.

Figura 8. Redução da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em cada posição entre os renques arbóreos no sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em diferentes turnos, isto é, manhã (entre 09:03 e 11:13h) e tarde (entre 13:03 e 14:53 h). 1 e 5, posições adjacentes aos renques; 2 e 4, posições intermediárias e 3, posição central entre dois renques.



Fonte: A autora, 2023.

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados das análises de variância (ANOVA) para as variáveis da pastagem e de desempenho animal.

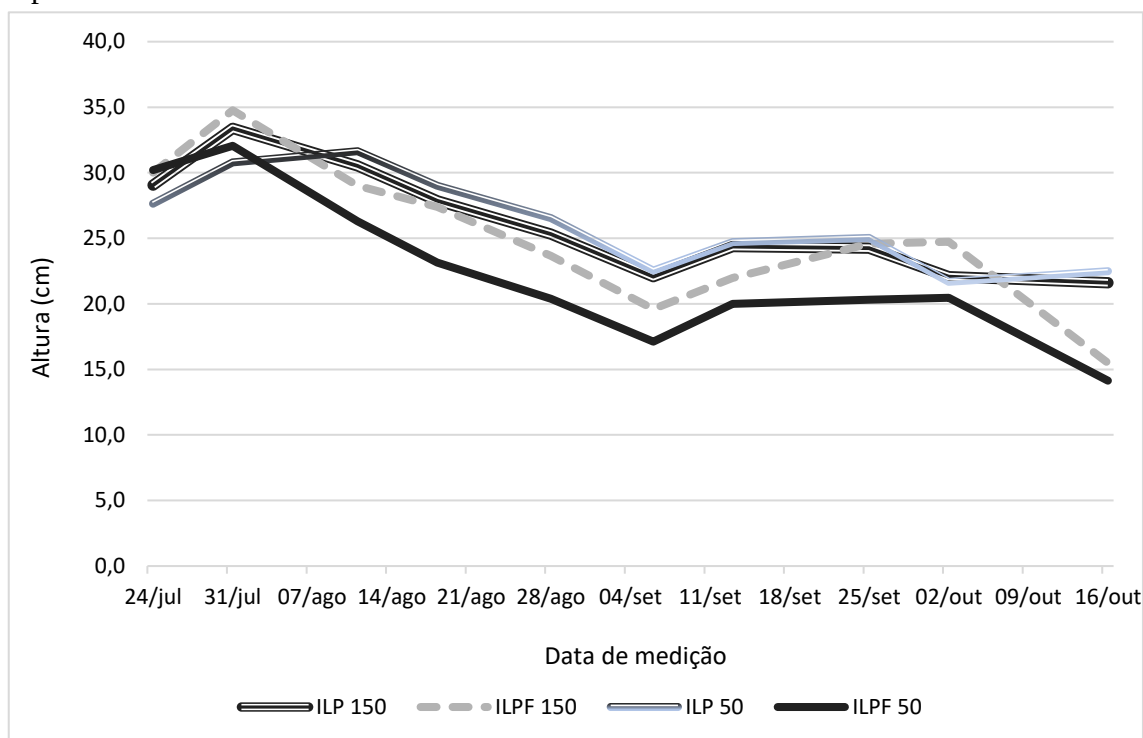
Tabela 12 - Resultado das análises de variância para as variáveis da pastagem e desempenho animal. Efeito de sistemas ILP (integração lavoura-pecuária) x ILPF (integração lavoura-pecuária-floresta) e doses de nitrogênio (50 x 150 kg N/ha) e as respectivas interações entre tais fatores.

Variável	Sistemas	Doses de N	Sistemas x Doses de N
Altura da pastagem (cm)	NS	NS	NS
Produção total de forragem (MS/ha)	*	NS	NS
Massa de forragem (kg/ha)	***	***	NS
Taxa de acúmulo total (kg MS/ha/dia)	**	NS	NS
Taxa de acúmulo de folhas (kg MS/ha/dia)	NS	NS	NS
Oferta total (%)	***	NS	***
Oferta de folhas (%)	NS	NS	NS
Proporção de folhas (%)	*	NS	NS
Ganho médio diário (kg/animal/dia)	NS	NS	NS
Ganho por área diário (kg PV/ha/dia)	*	NS	NS
Ganho por área total (kg PV/ha)	NS	**	NS
Carga animal (PV/ha)	**	NS	NS
Número de animais	**	NS	NS

***, P<0.001; ** P<0.01; * P<0,05; NS, não significativo.

O período de pastejo foi iniciado quando as pastagens atingiram em média 29,2 cm. Com o avanço do experimento, foi conquistada a redução dessa média de altura, como mostra a Figura 10. Em média, a altura do pasto não apresentou diferenças significativas ($P>0,05$, Tabela 12) entre os fatores estudados, apresentando média de $24,4 \pm 0,64$ cm.

Figura 9. Variações de altura da pastagem dos quatro tratamentos ao longo de todo o experimento.



ILP N150, sistema de integração lavoura-pecuária com 150 kg N/ha; ILPF 150, sistema de interação lavoura-pecuária-floresta com 150 kg N/ha; ILP 50, sistema de integração lavoura-pecuária com 50 kg N/ha; ILPF 50, sistema de interação lavoura-pecuária-floresta com 50 kg N/ha.

Fonte: A autora, 2023

As variáveis taxa de acúmulo de folhas e oferta de folhas não demonstraram diferenças significativas entre os fatores estudados (Tabela 12), sendo as médias de $14,4 \pm 1,51$ kg de MS/ha/dia e $2,65 \pm 0,16$ %, respectivamente. Nenhuma das variáveis afetou o ganho médio diário (Tabela 12), sendo a média de $0,843 \pm 0,04$ kg/animal/dia.

As doses de N ($P < 0,01$) afetaram significativamente apenas as variáveis massa de forragem (Tabela 12) e o ganho por área total. Em relação a massa de forragem, o tratamento com a dose de 150 kg N/ha apresentou a maior média ($1105,5 \pm 29,8$ kg MS/ha) em relação a menor dose ($902,64 \pm 31,7$ kg MS/ha). O ganho por área total foi significativamente superior com a dose de 150 kg N/ha ($403,6 \pm 23,7$ kg PV/ha em 94 dias de pastejo) do que com 50 kg N/ha ($283,6 \pm 26,6$ kg PV/ha).

Todas as variáveis com fator sistema significativo apresentaram valores superiores no sistema de ILP, exceto a proporção de folhas (Tabela 13).

Tabela 13 – Médias ($\pm$ desvio padrão) das variáveis relacionadas ao período de pastejo que sofreram efeito dos sistemas.

Variável	ILP	ILPF
PT (kg de MS/ha)	5499,5 $\pm$ 434,8	4431,7 $\pm$ 256
MF (kg/ha)	1241,84 $\pm$ 85	766,2 $\pm$ 18,6
TX (kg MS/ha/dia)	55,5 $\pm$ 6	36,7 $\pm$ 2,9
OT (%)	8,86 $\pm$ 0,4	7,26 $\pm$ 0,4
PF (%)	23,53 $\pm$ 1,7	26,3 $\pm$ 1,5
GAD (kg/PV/ha/dia)	3,8 $\pm$ 0,4	3,0 $\pm$ 0,2
CA	904,5 $\pm$ 72,3	710,3 $\pm$ 61,1
NA	4,6 $\pm$ 0,4	3,6 $\pm$ 0,3

PT, produção total de forragem; MF, massa de forragem; TX, taxa de acúmulo total; OT, oferta total; PF, proporção de folhas; GAD, ganho por área por dia; CA, carga animal; NA, número de animais; ILP, sistema de integração lavoura-pecuária; ILPF lavoura-pecuária-floresta.

Houve interação significativa entre sistemas e doses de N ($P > 0,001$, Tabela 12) para a oferta total. No tratamento ILP com 50 kg N/ha a oferta total foi de $9,89 \pm 0,6$ % e com a dose de 150 kg N/ha foi de $7,87 \pm 0,5$ %. No tratamento ILPF, a maior oferta se deu na dose de 150 kg N/ha, com média de $8,28 \pm 0,5$ %, seguido da menor dose de 50 kg N/ha, com média de $6,28 \pm 0,6$ %.

4.6 DISCUSSÃO

A competição com as árvores pode ter modificado a dinâmica de crescimento da pastagem. Tais alterações impactaram a oferta de forragem, tendo sido maior também no ILP do que no ILPF (Tabela 13).

Estudos realizados por Shipley & Almeida-Cortez (2003) e Gommers et al. (2013), citam que algumas gramíneas têm a capacidade de se ajustar à falta de luz aumentando o tamanho e a área das folhas, o que as ajuda a capturar mais luz solar, permitindo que essas plantas alcancem rapidamente a altura ideal para crescimento. Ao se adaptar a luz, essas plantas retardam a produção de novos perfilhos (Cavagnaro e Trione 2007; Belesky et al. 2011). Com isso, plantas estioladas aliada a menor produção de perfilhos, quando comparando com ambientes sem restrição luminosa, reduz o rendimento em massa seca. Portanto, a restrição na radiação luminosa pode ser tão importante sobre o rendimento das plantas quanto a adubação nitrogenada da forrageira (Pontes et al., 2017).

Belensky et al. (2011) também citam que plantas que crescem em locais sombreados estendem as folhas rapidamente para alcançar a altura alvo, porém, apresentam uma estrutura enfraquecida e menos perfilhos em comparação com as plantas que crescem em condições de pleno sol. Além disso, o mesmo autor sugere que, diminuindo a densidade de perfilhos ocasiona menor produção de forragem em áreas sombreadas. Portanto, o aumento da dose de nitrogênio, não compensou o efeito do sombreamento.

A adubação nitrogenada é uma estratégia recomendada para aumentar a densidade da perfilhos principalmente, a produção de folhas na pastagem (Stobbs, 1973; Corsi, 1986; Corsi & Nussio, 1992). Porém, as espécies forrageiras que crescem sob a copa das árvores respondem de forma diferente as doses de nitrogênio devido às diferenças em suas ecologias (Pontes et al., 2017). Pontes et al. (2017), comparando aveia-preta e azevém anual, nas doses de 90 e 180 kg ha⁻¹ de N, observaram maior efeito da presença de árvores sobre o rendimento das plantas do que de diferentes doses de adubação nitrogenada da forrageira (Pontes et al., 2017).

De acordo com Bernardino et al. (2011), a fertilização nitrogenada, independente da forragem utilizada, eleva a produção de MS de forragem. A maior massa de forragem (1105,5 ± 29,8 kg MS/ha) foi observada na maior dose de N (150 kg N ha⁻¹). Indicando dessa forma que com uma quantidade menor de adubação nitrogenada, isto é, 50 kg N ha⁻¹, a altura desejada da pastagem foi mantida, com 24,4 cm.

Assim, a restrição de 30% da RFA ocasionado pela copa das árvores, em comparação à área de pleno sol afetou o crescimento da pastagem. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores realizados na mesma área por Pontes et al. (2018). Porfírio-da-Silva et al. (2012) indicam que nos primeiros anos de crescimento das árvores, não são notadas diferenças importantes no desempenho dos animais entre as áreas com sombreamento parcial e aquelas sob pleno sol. No entanto, conforme as copas das árvores se desenvolvem e criam uma cobertura densa, a produção de forragem e o desempenho animal podem ser impactados negativamente. No presente estudo, mesmo as árvores estando com idade de apenas 3 anos, já foram capazes de interferir na produção forrageira e, conseqüentemente, no desempenho animal.

O sistema ILPF apresentou maior proporção de folhas em comparação ao ILP (Tabela 13). Bovinos em pastejo preferem folhas a colmos e materiais senescentes (Carvalho et al., 2001). Em pastagens densas e com alta proporção de folhas, os ruminantes consomem melhor e determinam a maior eficiência de colheita e produção animal (Stobbs, 1973). Além disso Alves (2012) comenta que em pastagens não arborizadas, mudanças nos tempos de pastejo, ruminação e ingestão de água indicam sintomas de estresse calórico, onde afetam o conforto

térmico dos animais e podem afetar assim seu desempenho. Contudo, as mudanças na estrutura do pasto e/ou possíveis mudanças de microclima não acarretaram diferenças significativas no GMD entre os sistemas avaliados. Por outro lado, o ganho por área diário foi maior no ILP em função do maior número de animais, consequentemente, maior carga animal.

Lupatini et al. (2013), destacaram que a taxa de lotação e o ganho por área de bezerros de corte apresentaram um aumento significativo em pastagens de aveia preta e azevém com o aumento das doses de nitrogênio, alcançando melhores resultados com a adubação de 150 kg de N/ha. Esses resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho, já que a dose de 150 kg N/ha apresentou maior ganho por área total.

4.7 CONCLUSÃO

O sistema ILPF apresentou menor massa de forragem, menor taxa de acúmulo e, consequentemente, menor produção total de forragem do que o sistema ILP, provavelmente em razão da interferência das árvores. Doses superiores da adubação nitrogenada não foram capazes de contornar o efeito das árvores. No entanto, as maiores doses de N proporcionaram maior ganho de peso vivo por área total, independente do sistema.

Apesar do sistema ILPF apresentar maior proporção de folhas que o sistema ILP, tais diferenças significativas não foram refletidas no GMD, já que tal variável não diferiu entre os sistemas avaliados. No entanto, diferenças significativas foram observadas no número de animais, na carga e, consequentemente, no ganho por área diário, sendo 21% maior no sistema ILP em comparação ao sistema ILPF.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experimentos de longo prazo, envolvendo animais em pastagens, são cruciais para compreender como os nutrientes são reciclados em SIPA e os benefícios que a presença dos animais pode trazer, desde que haja um manejo adequado das áreas de pastagem e cultivo.

Para eficiência da adubação de sistemas, o manejo do pasto, aliado com a época de plantio correta, é essencial para garantir o sucesso da estratégia. A adoção de técnicas adequadas de manejo da pastagem e aplicação de adubação nitrogenada, visando a adubação de sistemas, maximiza a eficiência na utilização de nutrientes nos SIPA. Assim, com essas técnicas levamos em conta as características específicas dos SIPA, visando não apenas aumentar a eficiência nutricional, mas também reduzir os impactos ambientais e melhorar a rentabilidade dos sistemas.

Apesar de todos os desafios existentes no sistema ILPF, é importante considerar as vantagens que esse sistema pode oferecer, como na ciclagem de nutrientes, mitigação de gases de efeito estufa via sequestro de carbono da atmosfera, tanto em partes da planta como no solo, conforto animal e conservação do solo. Assim, o desafio consiste em equilibrar a competição entre as árvores e as culturas associadas no sistema ILPF, garantindo níveis sustentáveis de rendimento.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, T.S.; RONZELLI JR., P.; MORAES, A. de.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.4, p.675-683, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Beef report. Perfil da pecuária no Brasil 2022. São Paulo: ABIEC, 2022. 60p.
- BALBINOT JR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**. v. 39. n. 6. 2009.
- BELESKY, D. P.; BURNER, D. M.; RUCKLE, J. M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 3, p. 370-380, 2011.
- BERNARDINO, F. S. et al. Produção de forragem e desempenho de novilhos de corte em um sistema silvipastoril: efeito de doses de nitrogênio e oferta de forragem. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.7, p.1412-1419, 2011.
- BOLFE, É. L. et al. Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases. **Land**. v. 13, n. 2, p. 200, 2024.
- CARPINELLI, S., PONTES, L.S., Da FONSECA, A.F. et al. Effect of trees and cattle dung input on soybean yield and nutrition in Integrated Crop–Livestock Systems. **Agroforest Syst.** 95, 707–716. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00622-w>.
- COSTA, M. et al. Swine manure application methods effects on ammonia volatilization, forage quality, and yield in the PreAmazon Region of Brazil. **Chilean Journal of Agricultural Research**. v.74. n.3. p. 311-318. 2014.
- DUBEUX, J. C. B. et al. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: How are they linked? **Crop Science**. v. 54. n. 5. p. 2341–2350. 2014.
- KARAM, S. L.; WEISBERG, P.; SCHELLER, R.M.; JOHNSON, D. W.; MILLER, W. W. Development and evaluation of a nutrient cycling extension for the LANDIS-II landscape simulation model. **Ecological Modelling**, v. 250. p. 45 – 57. 2013.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop– livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 190. p. 4–8. 2014.

LUPATINI, G. C. et al. Produção de bovinos de corte em pastagem de aveia preta e azevém submetida a adubação nitrogenada. **Ci. Anim. Bras., Goiânia**, v.14, n.2, p. 164-171, 2013.

LUSTOSA, S.; MACHADO, D.; BALDISSERA, T. et al. Experiências de Integração Lavoura Pecuária na Região Central do Paraná. **Synergismus scyentifica UTFPR**. v. 6. n. 2. 2011.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção de forragem, morfogênese e eficiência agrônômica do adubo em capim BRS Quênia sob doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**. v. 75, 2018.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; RIBEIRO JUNIOR, J.I.; CUNHA, D. N. F. V. e MOREIRA, L. Características morfológicas e estruturais do capim-xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 34. p. 1475-1482. 2005.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P.M. e CUNHA, D. N. F. V. Características morfológicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 35: p. 665 - 671. 2006.

MICHALK, D. L. et al. Sustentabilidade e segurança alimentar futura: uma perspectiva global para a produção pecuária. **Land Degrad. Dev.** v. 30, p. 561-573. 2019.

PONTES, L. D. S.; CARPINELLI, S; STAFIN, G; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, B. R. C. D. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. **Grassland Science**, v. 63, p. 29-35, 2017.

PONTES, L. D. S.; BARRO, R.S.; SAVIAN, J.V.; BERNDT, A.; MOLETTA, J.L.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BAYER, C.; CARVALHO, P.C.F. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: the effect of shade and nitrogen fertilization. **Agric. Ecosyst. Environ.** 253, 90–97. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesq. Flor. Bras.** V. 32 (70), p. 67-76, 2012.

SBRISSIA, A. F. et al. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina América. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 47–60, 2017.

SOARES, A. B.; RESTLE, J. Produção Animal e Qualidade de Forragem de Pastagem de Triticale e Azevém Submetida a Doses de Adubação Nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 31. n. 2. p. 908 – 917. 2002.

STOBBS, T.H. The effect of plant structure on the intake of tropical pasture. II- Differences in sward structure, nutritive value and bite size of animals grazing *Setaria anceps* and *Chloris*

gayana at various stages of growth. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.24, p.821-829, 1973.

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicales**. v. 25, p. 21 - 26, 2003.