

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ

CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

ELOISA MATTEI

**PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM EM CONSORCIAÇÃO COM
FORRAGEIRAS TROPICAIS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

ELOISA MATTEI

**PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM EM CONSORCIAÇÃO COM
FORRAGEIRAS TROPICAIS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Mattei, Eloisa
PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM EM CONSORCIAÇÃO COM
FORRAGEIRAS TROPICAIS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA / Eloisa Mattei;
orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira;
coorientador(a), Carlos Alexandre Costa Crusciol, 2021.
91 f.

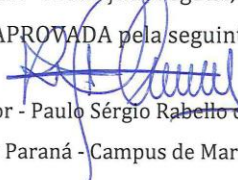
Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências
Agrárias, Graduação em AgronomiaPrograma de Pós-Graduação em
Agronomia, 2021.

1. consórcio de culturas. 2. qualidade física do solo. 3.
ciclagem de nutrientes. I. Rabello de Oliveira, Paulo
Sérgio. II. Costa Crusciol, Carlos Alexandre . III. Título.

**unioeste****Universidade Estadual do Oeste do Paraná****Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46****Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>****Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000****Marechal Cândido Rondon - PR.****PARANÁ****GOVERNO DO ESTADO****ELOISA MATTEI**

Produtividade de milho silagem em consorciação com forrageiras tropicais e adubação nitrogenada em sistema de integração lavoura-pecuária

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:


Orientador - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Emerson Fey

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Eduardo Eustáquio Mesquita

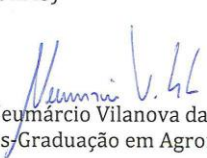
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Deise Dalazen Castagnara

Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

Jean Sérgio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)


Neumárcio Vilanova da Costa
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 18 de fevereiro de 2021

Aos meus pais, Neila e Luis, por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de suas vidas em prol das realizações e da felicidade de suas filhas. Sinto-me orgulhosa e privilegiada por tê-los como meus pais. Amo vocês, incondicionalmente.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos. Por me permitir errar, aprender e crescer, por seu infinito amor, por caminhar comigo, segurar minha mão e quando necessário, me carregar no colo.

Aos meus pais, Luis Mattei e Neila Cella Mattei, que muitas vezes se doaram e renunciaram aos seus sonhos, para que eu pudesse realizar os meus. Tudo que consegui só foi possível graças ao apoio, dedicação e amor que vocês sempre tiveram, por mim e pela nossa família. Essa conquista não é só minha, é nossa!

Às minhas irmãs, Simone Mattei, Fernanda Mattei, Ângela Taís Mattei, ao meu cunhado Jéderson da Silva e ao meu sobrinho, Álan Mattei Barp, pela ajuda nos perrengues, pelas ligações e palavras de carinho quando a saudade batia, por serem bons ouvintes, pelo incentivo e encorajamento para que eu seguisse “firme e forte”. Vocês são indispensáveis na minha vida!

Ao meu noivo, Alan Dresch, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigada por permanecer ao meu lado, mesmo sem a atenção devida e depois de tantos momentos de lazer perdidos. Obrigada por me fazer feliz!

À minha família de Marechal, Analise Bennemann Dresch, Jailson Assis Dresch e Rafaela Dresch, pelos conselhos, compreensão e ajuda, principalmente nos momentos de maiores apuros, tornando mais fácil o cumprimento desta importante missão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, pela oportunidade de tê-lo como orientador de mestrado e doutorado, a quem expressei minha gratidão pela confiança, ensinamentos, por toda a atenção, paciência, apoio, amizade e conselhos oferecidos durante todos estes anos. Obrigada por nos encorajar a ir além do que achamos ser capazes! Muitíssimo obrigada!

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, inteligente e humilde, exemplo de profissional a ser seguido. Obrigada por ter assumido a minha coorientação, por todos os ensinamentos, dedicação e confiança depositada em mim e em meu trabalho.

Aos professores membros da banca de qualificação e defesa, Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset, Profa. Dra. Deise Castagnara Dalazen, Prof. Dr. Emerson Fey e Prof. Dr. Eduardo Eustáquio Mesquita pela disponibilidade e apontamentos que engrandeceram esse estudo.

Aos integrantes do grupo GEPSIA, em especial Bruna Thaina Bartzen, Bruno Theisen, Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego, Daniel Kamphorst, Jeferson Tiago Piano, Jonas

Francisco Egewarth, Julia Carolina Weizenmann, Lucas da Silveira, Marinez Carpiski Sampaio, Vanessa Aline Egewarth, amigos e companheiros de trabalho.

Aos amigos e amigas que fiz ao longo desta caminhada, àqueles de longe que, de alguma forma, contribuíram, apoiando e colaborando para a elaboração deste trabalho, vocês são muito importantes!

Aos amigos dos pedais e das pescas aleatórias, em especial Maurício Alexsandro Rieger, Mateus Antônio Besen e a Vanessa Caroline Schuck, minha parceira de pedal, por proporcionarem momentos de descontração, alegria, pelas palavras de apoio e incentivo, tornando a caminhada da vida mais leve e feliz. Vocês são incríveis!

Às empresas Seidel Agribusiness de Quatro Pontes – PR e MATSUDA – SP, pela bonificação das sementes forrageiras. Em especial, à Cedimara Maria Kandler, pela paciência e atenção para intermediar nosso contato.

Às professoras, Dra. Maria do Carmo Lana e Dra. Edleusa Pereira Seidel, por abrirem as portas dos laboratórios de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas e Física do Solo.

Ao pesquisador, Dr. Jucenei Fernando Frandoloso, pela ajuda na realização das análises.

Aos funcionários do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, pelo auxílio e disponibilidade durante o período de condução experimental, em especial ao Dirceu Rauber, Ernesto Deves, Marcelo Lang, Rosane Ribeiro e Valdir Verruk.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia pela oportunidade de realização do doutorado.

À secretária do PPGA, Leila pela paciência e dedicação ao realizar seu trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná (Fundação Araucária), pela concessão da bolsa de estudos.

MUITO OBRIGADA!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

MATTEI, Eloisa. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2021. **Produtividade de milho silagem em consorciação com forrageiras tropicais e adubação nitrogenada em sistema de integração lavoura-pecuária.** Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol.

A adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), em especial a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), é uma alternativa de manejo sustentável, e quando conduzido de forma correta, traz inúmeros benefícios, constituindo um modelo de intensificação sustentável do uso do solo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do cultivo do milho solteiro ou consorciado com gramíneas forrageiras tropicais, conduzidos em sistema de ILP, na presença ou ausência de adubação nitrogenada, sobre as características agrônômicas e produtividade do milho silagem, propriedades físicas do solo, decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos das forrageiras. O experimento foi realizado entre outubro de 2017 e janeiro de 2020 (dois anos agrícolas), em Marechal Cândido Rondon – PR, em blocos ao acaso, com parcelas sub-subdivididas com uma testemunha adicional e quatro repetições. As parcelas foram constituídas por duas espécies forrageiras (*Urochloa brizantha* e *Magathyrus maximum*) consorciadas com o milho, mais a testemunha adicional (milho solteiro). As subparcelas consistiram dos manejos das forrageiras (fenação e pastejo) e nas sub-subparcelas, da presença ou ausência de adubação nitrogenada em cobertura. Na cultura do milho, foram determinados: estande final de plantas, altura de plantas, altura da inserção de espiga, diâmetro do colmo e produtividade total de matéria seca. Findando os manejos e antecedendo a implantação do milho, no solo foram determinadas a macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP). Foi avaliada a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais das forrageiras durante o cultivo do milho silagem em sucessão. O consórcio não comprometeu os componentes de produção e aumentou 5 toneladas de produtividade de matéria seca do milho silagem. A utilização de nitrogênio (N) em cobertura nas forrageiras após os manejos, aumentou a quantidade de Ma na camada de 0-0,05 m para o primeiro ano. Os valores de Ds estão acima do limite considerado crítico para o desenvolvimento das plantas, porém, com tendência à redução. A adoção do SIPA, independente da espécie forrageira utilizada e manejo adotado, seja fenação ou pastejo, não compromete a qualidade física do solo, sendo assim, uma ótima alternativa para a diversificação da produção na propriedade. O consórcio da cultura do milho com forrageiras é uma alternativa para elevar a quantidade de resíduos vegetais e ciclagem de nutrientes. As maiores produtividades de matéria seca e acúmulo de nutrientes foram obtidos

quando as forrageiras foram pastejadas, garantindo quantidade acima de 4.000 kg ha⁻¹ de matéria seca para continuidade do SPD. Por outro lado, a fenação deve ser realizada com muito critério pois reduz acentuadamente a deposição de cobertura morta sobre o solo e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes. A utilização de *U. brizantha* e *M. maximum* para alimentação animal, em sistemas integrados, é uma alternativa para a ciclagem de nutrientes. O consórcio de milho com gramíneas perenes tropicais é uma opção para o produtor, por proporcionar pastagem no período da entressafra e/ou palhada para a manutenção do sistema de plantio direto.

Palavras-chave: consórcio de culturas, qualidade física do solo, ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

MATTEI, Eloisa. State University of Western Paraná, February 2021. **Productivity of corn for silage intercropped with tropical forages and nitrogen fertilization in crop-livestock integration system.** Advisor: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-advisor: Carlos Alexandre Costa Crusciol.

The adoption of integrated systems, in particular the Crop-Livestock Integration, is an alternative for sustainable management and when conducted correctly, brings numerous benefits, constituting a model of sustainable intensification of land use. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of single corn crop and intercropped with tropical grasses, conducted in a crop-livestock integration system, in the presence or absence of nitrogen fertilization, on the agronomic characteristics and productivity of corn for silage, soil physics properties, decomposition and release of nutrients from forage residues. The experiment was carried out between October 2017 and January 2020 (two agricultural years), in Marechal Cândido Rondon - PR, in random blocks in a split-split plots design with an additional control, with four repetitions. The plots consisted of two forage species (*Urochloa brizantha* and *Magathyrsus maximum*), plus the additional control (single corn crop). The subplots consisted of forage management (hay and grazing) and in the sub-subplots, the presence or absence of nitrogen fertilization. In corn, the final plant stand, plant height, spike insertion height, stem diameter and total dry matter productivity were determined. With the end of management and prior to corn crop implantation, macroporosity, microporosity, total porosity, soil density and soil resistance to penetration were determined. The rate of decomposition and release of nutrients from forage crop residues during the cultivation of corn for silage in succession was evaluated. The consortium did not compromise the production and increased 5 tons of dry matter productivity of corn silage. The use of corn intercropped with tropical perennial grasses is a viable option for the producer, for providing grazing in the period between harvests and/or straw to maintain the no-tillage system. The use of N in cover in forages after management, increased the amount of macropores in the 0-0.05 m layer for the first year. The D_s values are above the limit considered critical for the development of the plants, however, with a tendency to decrease. The adoption of the integrated system, regardless of the forage species used and management adopted, be it hay or grazing, does not compromise the physical quality of the soil, thus being a great alternative for the diversification of production on the property. The intercropping of corn and forage crops is an alternative to increase the amount of plant residues and nutrient cycling. Higher yields of dry matter and nutrient accumulation was obtained when

forages were grazed, guaranteeing amount above 4,000 kg ha⁻¹ of dry matter for continuity of the no-tillage system. On the other hand, haymaking must be carried out with great discretion as it greatly reduces the deposition of mulch in the soil and consequently the cycling of nutrients. The use of *U. brizantha* and *M. maximum* for animal feed, in integrated systems, is a viable alternative for the recycling of nutrients. The corn consortium with tropical perennial grasses is an option for the producer, as it provides pasture during the entry and / or straw for the maintenance of the no-tillage system.

Keywords: Intercropped, Physical soil quality, Nutrient cycling.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

Al^{3+}	Alumínio trocável
$\text{H}+\text{Al}$	Acidez potencial
Ca^{2+}	Cálcio trocável
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
Cfa	Clima subtropical úmido
cm	Centímetro
cm^3	Centímetro cúbico
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Centimol de carga por decímetro cúbico
C	Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Coeficiente de Variação
Ds	Densidade do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
et al.	Abreviatura da expressão latina “et alia”, significando “entre outros”
G	Grama
g dm^{-3}	Grama por decímetro cúbico
g kg^{-1}	Grama por quilo
ha	Hectare
ILP	Integração Lavoura Pecuária
K^+	Potássio trocável
kg ha^{-1}	Quilo gramas por hectare
L ha^{-1}	Litros por hectare
LVef	Latossolo Vermelho Eutroférico
m	Metro
Ma	Macroporosidade
Mg^{2+}	Magnésio trocável
mg m^{-3}	Miligrama por metro cúbico
mg dm^{-3}	Miligrama por decímetro cúbico
Mg ha^{-1}	Megagrama por hectare
Mi	Microporosidade
mm	Milímetros
MPa	Megapascal

m ²	Metro quadrado
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio atmosférico (gás)
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrogênio
PR	Unidade da Federação – Paraná
Pt	Porosidade total
R ²	Coeficiente de determinação
RP	Resistência do solo à penetração
S	Sul
SILP	Sistema Integração Lavoura-Pecuária
SIPA	Sistema Integrado
SPD	Sistema de plantio direto
TFSE	Terra fina seca em estufa
T ^{1/2}	Tempo de meia vida
t ha ⁻¹	Toneladas por hectare
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Ug	Umidade gravimétrica
W	Oeste
1000 grãos	Massa de mil grãos
%	Porcentagem
°C	Unidade de temperatura: Graus Celsius
*	Significativo à 5% de erro
**	Significativo à 1% de erro
®	Marca registrada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de outubro/2017 a dezembro/2018.	17
Figura 2 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de janeiro/2019 a janeiro/2020.	17
Figura 3 - Matéria seca remanescente (A) (C) e carbono remanescente (B) (D) dos resíduos vegetais submetidos aos manejos de pastejo e fenação ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.	63
Figura 4 – Nitrogênio (N) remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).	64
Figura 5 – Fósforo (P) remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).	66
Figura 6 - Potássio remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, antes da implantação do experimento (2017)	18
Tabela 2 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2019	22
Tabela 3 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (No ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2020	23
Tabela 4 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial nos componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP)) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem, conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020	25
Tabela 5 - Componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP)) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem, conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020	28
Tabela 6 - Quadrado médio da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2018	38
Tabela 7 - Quadrado médio da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2019	39
Tabela 8 - Valores médios de macroporosidade (Ma) do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) manejado em sistema de integração lavoura-pecuária na presença ou ausência de adubação nitrogenada, 2018	40
Tabela 9 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nos anos de 2018 e 2019	41
Tabela 10 - Quadrado médio da resistência do solo à penetração (MPa) conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, em diferentes camadas, no ano de 2018	44
Tabela 11 - Quadrado médio da resistência do solo à penetração (MPa) conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, em diferentes camadas, no ano de 2019	45

Tabela 12 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial na resistência do solo à penetração (Rp), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, no ano de 2018.....	46
Tabela 13 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies forrageiras e dos manejos ao longo do tempo na safra 2018/2019.....	59
Tabela 14 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies forrageiras e dos manejos ao longo do tempo na safra 2019/2020.....	60
Tabela 15 - Quantidade de matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) remanescentes dos resíduos culturais das espécies forrageiras submetidas aos manejos de pastejo e fenação, no ano de 2018	61
Tabela 16 - Economia (R\$ ha ⁻¹) com base nas quantidades de fertilizantes equivalentes às quantidades de N, P e K liberados pela palhada remanescente das forrageiras submetidas ao pastejo até 100 dias após a semeadura do milho silagem.....	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
2	CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	13
2.1	INTRODUÇÃO.....	15
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	16
2.2.2	Delineamento experimental.....	18
2.2.3	Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras.....	18
2.2.4	Manejos das forrageiras.....	19
2.2.5	Avaliações realizadas	20
2.2.6	Análise estatística	21
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
2.4	CONCLUSÕES.....	29
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
3	CAPÍTULO 2: MANEJO DAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM CONSÓRCIO COM MILHO PARA SILAGEM E ADUBAÇÃO NITROGENADA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	33
3.1	INTRODUÇÃO.....	35
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	36
3.2.2	Delineamento experimental.....	36
3.2.3	Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras.....	36
3.2.4	Manejos das forrageiras.....	37
3.2.5	Avaliações realizadas	37
3.2.6	Análise estatística	37
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.4	CONCLUSÕES.....	47
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

4	CAPÍTULO 3: DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DOS RESÍDUOS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS, MANEJADAS SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	53
4.1	INTRODUÇÃO.....	55
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
4.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	56
4.2.2	Delineamento experimental.....	56
4.2.3	Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras.....	56
4.2.4	Manejos das forrageiras.....	56
4.2.5	Avaliações realizadas	57
4.2.6	Análise estatística	58
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.4	CONCLUSÕES.....	68
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por alimentos em quantidade e qualidade, aliada a evolução tecnológica proporcionam mudanças nos paradigmas produtivos, e as atividades agrícolas e pecuárias passaram a ser realizadas de forma intensificada, independentes e dissociadas, caracterizadas por monocultivo (CORDEIRO et al., 2015). Esse modelo de produção predominante no mundo, tende a elevada demanda por energia e recursos naturais e vem mostrando sinais de saturação.

Das atividades pecuárias que estão sendo intensificadas, a produção de carne e leite têm impacto direto no solo, pois no Brasil vêm predominantemente da exploração a pasto, em áreas destinadas à pecuária extensiva, utilizando forrageiras tropicais ou subtropicais que são a base do volumoso consumido na dieta (VIANA et al., 2015). No entanto, estima-se que 80% dessas áreas de pastagens apresentam algum estágio de degradação (MACEDO et al., 2000; CARVALHO et al., 2017), proporcionado pelo manejo inadequado empregado.

Este sistema tradicional de produção é pouco eficiente frente à crescente demanda por alimentos (DUARTE et al., 2018), possuindo uma série de problemas, como a maior degradação do solo, redução da produtividade, maior possibilidade de erosão e perdas econômicas (MACEDO, 2009). Diante desse contexto, há um desafio para o setor agropecuário brasileiro, que consiste em aumentar a oferta de produção em função da demanda da população, aliado a redução de custos e impactos ao meio ambiente. Diante desse contexto, há um desafio para o setor agropecuário brasileiro que consiste em aumentar a oferta de produção em função da demanda da população, aliado a redução de custos e impactos ao meio ambiente.

Para atender a essa demanda de forma manter ou potencializar a capacidade produtiva e rentabilidade dessas áreas, é fundamental a implementação de estratégias que visem integrar o cultivo de grãos à pecuária (ALONSO et al., 2014) pois como estratégia de agricultura conservacionista, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) provaram ser excelentes alternativas (GLÉRIA et al., 2017). Sua principal característica consiste na associação de cultivos agrícolas e produção animal, adotada em diferentes partes do mundo e com os mais diversos propósitos (KUNRATH et al., 2015), podendo se desenvolver na forma de sucessão, rotação ou consórcio (HOTT et al., 2019).

Os SIPAs são utilizados há décadas e, nos últimos anos, devido ao insucesso dos modelos de produção agrícola e pecuária, essa forma de produzir vem ganhando cada vez mais atenção e adeptos (GLÉRIA et al., 2017). A adoção SIPAs é uma opção viável para as condições

brasileiras, pois o país apresenta regiões de clima tropical e subtropical, as quais possibilitam a utilização de uma ampla diversidade de espécies vegetais e animais (BONETTI et al., 2015).

As vantagens oriundas podem ser observadas em quatro grandes áreas: agrônômica, econômica, ecológica e social (ASSIS et al., 2019). Neste contexto, destacam-se a redução de custos na alimentação animal (TOBIN et al., 2020), os resíduos dos pastejos promovem incremento de carbono (C) e melhoria na ciclagem de nutrientes, reduzindo a aquisição de fertilizantes, preservação e manutenção da capacidade produtiva do solo (SULC e FRANZLUEBBERS, 2014), aumento da produtividade agrícola, de leite e/ou carne, redução de riscos inerentes à mudança climática (MARTIN et al., 2016; BONAUDO et al., 2014), redução de pragas, doenças e consequentemente a utilização de defensivos (ROTA e SPERANDINI, 2011). Esses benefícios culminam com a diversificação da propriedade, reduzindo possíveis riscos econômicos e aumentando o fluxo de caixa para os produtores (RUSSELLE et al., 2007).

Uma das principais culturas adotadas em sistemas de integração lavoura pecuária é a cultura do milho. Por suas características fisiológicas e pelo manejo que vem sendo submetido, a cultura do milho é amplamente utilizada e adequada em sistemas de rotação e sucessão de culturas (SILVA et al., 2007).

É uma cultura estratégica sob o ponto de vista de segurança alimentar e econômica (NARDINO et al., 2016) devido às inúmeras aplicações. Dentre suas utilizações destacam-se a alimentação animal, na forma de grãos, forragem verde ou silagem, alimentação humana e geração de receita, a partir da comercialização da produção excedente (TROGELLO et al., 2012; PEREIRA et al., 2017).

Além das vantagens citadas, o milho se destaca entre os cereais nos cultivos em consórcio devido à outras características inerentes à cultura. Sua competitividade, seu crescimento inicial rápido e porte alto, geram pressão de supressão as demais espécies que crescem no mesmo local, e facilitam a colheita mecanizada (GARCIA et al., 2013). A existência de um grande número de cultivares adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas nas diversas regiões produtoras, possibilita seu cultivo de norte a sul do Brasil (GONTIJO NETO et al., 2014). Essa versatilidade permite ao milho um importante papel social, pois grande parte da produção do milho é oriunda de pequenos produtores, que não possuem alto nível de tecnificação (CRUZ et al., 2011).

De forma geral, independentemente do tipo consórcio, para que o sistema de integração funcione de forma correta e que não haja redução de produtividade dos componentes envolvidos, é necessário que diversos fatores atuem em conjunto. Dentre esses fatores

destacam-se a escolha da espécie forrageira, o manejo adequado das pastagens e da fertilidade do solo.

As culturas de interesse comercial, cultivadas em monocultivo, geralmente não produzem palhada em quantidade suficiente para cobrir e proteger o solo ao longo do ano de forma adequada (ROSSET et al. 2014; MATEUS et al., 2016). A introdução de uma espécie forrageira como gramíneas do gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e *Megathyrsus* (Syn. *Panicum*) em sistema consorciado tem se mostrado uma alternativa adequada. Nesse sistema, inúmeras finalidades podem ser atendidas, especialmente devido à facilidade de adaptação das espécies consorciadas (FLÁVIO NETO et al., 2015). Dentre estas destacam-se a antecipação do estabelecimento da forragem para pastejo, silagem, fenação ou ainda, formação de palhada para o segmento do sistema de plantio direto (PEREIRA et al., 2016).

Ainda, para um sistema consorciado, as gramíneas forrageiras são consideradas excelentes opções para consórcio, por apresentarem boa adaptabilidade, tolerância e resistência a fatores bióticos, sistema radicular profundo e abundante, e elevado valor nutricional, capaz de atender a demanda dos animais. Ademais, possuem alta capacidade produtiva de matéria seca, com elevada relação carbono/nitrogênio (C/N), reduzindo a velocidade de decomposição deste material, protegendo o solo contra a perda de água por evaporação e possíveis perdas de solo por erosão (SILVA et al., 2019). O uso de forrageiras perenes tropicais com culturas de interesse comercial, como milho e soja, são consideradas técnicas viáveis e eficientes em promover o aporte de material vegetal em superfície e em profundidade, demonstrando viabilidade produtiva e econômica do consórcio sem limitação à produtividade (ALMEIDA et al., 2017; COSTA et al., 2017; PARIZ et al., 2017).

No manejo de forrageira, um dos entraves é a produção de forragem ao longo do ano, que não é constante e afeta a oferta de alimentos, em quantidade e qualidade, resultando em redução no rendimento dos animais (OLIVEIRA et al., 2016). Dessa forma, faz-se necessário utilizar estratégias a fim de garantir alimento, a partir conservação de forragem, como é o caso da fenação e da ensilagem. A fenação consiste no corte da planta forrageira em momento ideal e posterior armazenamento, enquanto a ensilagem prevê a picagem das plantas e a conservação sob fermentação anaeróbica.

Há, no entanto, àqueles que optam pelo pastejo. Porém, ainda há muitos produtores que se opõem a presença de animais em áreas agrícolas, por receio de resultar em compactação do solo (BRAZ et al., 2012). Em parte, os produtores têm razão, sobretudo quando o manejo dos animais e das pastagens forem realizados de forma inadequada, com teor de umidade do

solo elevado, onde as tensões exercidas pelos cascos dos animais ou rodados de maquinários seja superior à capacidade de suporte de carga do solo (PIRES et al., 2012).

Embora exista o risco de danos físicos ao solo sob condições inadequadas de manejo da pastagem, há dúvidas acerca dos manejos empregados no sistema, especialmente no que se refere ao tráfego de máquinas e pisoteio animal (ASSIS et al., 2019). Segundo Streck et al. (2004), os problemas relacionados a compactação dos solos em SIPA, nem sempre devem estar associados de forma direta ao pastejo, mas também, a utilização de máquinas e equipamentos agrícolas. Entretanto, a prática da fenação e/ou pastejo das forrageiras são práticas de manejos dependentes das características e do grau de tecnificação da propriedade em questão.

Além da espécie forrageira e manejo empregado nas pastagens, a disponibilidade de nitrogênio (N) no sistema é de fundamental importância, por potencializar a produção de forragem, que influencia na produtividade animal e a quantidade de palhada transferida para a fase de lavoura (ALVES et al., 2015). Entretanto, a adubação das pastagens nesses sistemas de produção ainda é muito negligenciada (SARTOR et al., 2011), pelo pensamento de que a pastagem se beneficia da adubação da lavoura, sendo, portanto, desnecessária.

A essencialidade do N nas plantas dá-se pela sua participação na composição das mais importantes biomoléculas dos vegetais (ROSADO e GONTIJO, 2017). Sendo parte essencial dentro de proteínas, ácidos nucleicos, hormônios, enzimas, fitocromos e clorofila (TAIZ et al., 2017; BOURSCHEIDT et al., 2019), além de ser um macronutriente para as plantas (GIMENES et al., 2017).

Numa condição de maior disponibilidade de N no solo e consequentemente nas células das plantas, os processos fotossintéticos são potencializados e podem ser observados facilmente em gramíneas forrageiras na maximização das características morfogênicas (taxas de aparecimento, expansão e senescência das folhas) e estruturais (tamanho de folha, densidade de perfilhos e número de folhas por perfilho) (LANA et al., 2013; COSTA et al., 2014). Esses fatores são considerados intrínsecos na produtividade de matéria seca e qualidade da forragem, contribuindo dessa forma, no acréscimo de índices zootécnicos (ALEXANDRINO et al., 2010).

A produtividade de matéria seca de pastagens normalmente é linear em resposta à adubação nitrogenada, dentro de certos limites, podendo ser influenciada pelo potencial genético da espécie, frequência de cortes (FLORES et al., 2012), teor de matéria orgânica no solo, disponibilidade de água (DI NASSO et al., 2015), condições climáticas (CASTRO et al., 2016), forma de aplicação e época do ano (IWAMOTO et al., 2014). É, seguramente, o nutriente mais importante dentro dos SIPAs, podendo proporcionar maior número de cortes e/ou pastejos das forrageiras potencializando os ganhos do componente animal.

Entre as estratégias de fornecimento de N em pastagens, destaca-se a reposição via fertilizantes. As vantagens oriundas da utilização de fertilizantes químicos nitrogenados é que a disponibilidade do nutriente para as plantas é imediata, com custo energético para a absorção reduzido (BOURSCHEIDT et al., 2019). Por outro lado, deve-se considerar o custo do fertilizante, transporte e mão de obra, além de outros fatores bióticos, como perdas por volatilização, desnitrificação e lixiviação (BONO et al., 2008), resultando em prejuízos ambientais, a partir da contaminação de recursos hídricos (COSTA et al., 2017).

Outra forma de repor os nutrientes ao solo neste sistema é através da deposição e decomposição do material vegetal. Conhecida como ciclagem de nutrientes, é caracterizada com o fluxo de nutrientes através dos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (SOUZA et al., 2018), e é considerada uma importante fonte de nutrientes para as culturas sucessoras, conduzidas em SIPA (ANGHINONI et al., 2013). Uma espécie vegetal é considerada eficiente na ciclagem de nutrientes quando a quantidade de nutrientes disponibilizados para a cultura subsequente é suficiente para atender a sua demanda, de forma total ou parcial, ou se há sincronismo entre a época de maior liberação de nutrientes e de exigência pela cultura sucessora (HENTZ et al., 2014). Tal fenômeno pode ser observado para a cultura do milho, podendo considerar a possibilidade de redução ou ausência de adubação nitrogenada, inclusive, sem redução na produtividade (SANDINI et al., 2011). Entretanto, este aproveitamento não ocorre de forma eficiente da fase de grãos/silagem para a pastagem, devido à grande quantidade de nutrientes exportados pela colheita (MORAES et al., 2018).

A ciclagem de nutrientes é potencializada pela permanência dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, que é influenciada por diversos fatores. Destes, destacam-se a quantidade e qualidade do material vegetal, tipo de solo, fertilidade, manejo e, principalmente, pelas condições climáticas, como a temperatura e precipitação (CARNEIRO et al., 2013; SANTOS et al., 2014; MACHADO et al., 2015). A velocidade e suscetibilidade com que a decomposição ocorre, depende diretamente da relação C:N do material (GODINHO et al., 2014). Resíduos com alta relação C:N (>30), ou seja, com baixos teores de N em sua composição, tornam a decomposição mais lenta e consequentemente, a liberação dos nutrientes. É o que ocorre com as gramíneas, quando comparadas às leguminosas (SILVA et al., 2012).

O aporte dos nutrientes da palhada das forrageiras e excretas animais muitas vezes não são considerados no momento da recomendação da adubação, o que acaba subestimando a eficiência dos SIPAs. Estudos referentes a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais apresentam uma contribuição relevante em relação a fertilidade do solo, no entanto, deve ser considerada no cálculo da dose de fertilizante a ser aplicado (ROSOLEM et al., 2003;

SANTOS et al., 2008; MATTEI et al., 2018), resultando na racionalização no uso de fertilizantes químicos, redução de custos de produção, menores perdas e desequilíbrio ambiental (SANTOS et al., 2014).

Diante do exposto, o presente estudo tem como hipótese: forrageiras tropicais em consórcio com milho para silagem, manejada em SIPA e adubação nitrogenada contribuem na melhoria dos componentes de produção e produtividade da cultura do milho, além de melhorias sobre as propriedades físicas do solo e ciclagem de nutrientes. Para avaliar essa hipótese, esta tese foi dividida em três capítulos com diferentes objetivos.

Capítulo I, intitulado de “Características agronômicas e produtividade de milho silagem em área de integração lavoura-pecuária”, que teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo do milho solteiro ou consorciado com gramíneas forrageiras tropicais, *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximum*, conduzidos em sistema de integração lavoura-pecuária, na presença ou ausência de adubação nitrogenada, nas características agronômicas e produtividade da cultura do milho.

Capítulo II, intitulado de “Influência da adubação nitrogenada e manejos de forrageiras tropicais nas propriedades físicas do solo” que teve como objetivo avaliar a influência da adubação nitrogenada e manejos de forrageiras tropicais sobre a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e resistência do solo à penetração.

Capítulo III, intitulado de “Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de forrageiras tropicais, manejadas em sistema de integração lavoura-pecuária” que teve como objetivo avaliar a decomposição da matéria seca e liberação de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio da palhada de *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximum* após os manejos de fenação e pastejo.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRINO, E.; VAZ, R. G. M. V.; SANTOS, A. C. Características da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante o seu estabelecimento submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 886-893, 2010.
- ALMEIDA, R. E. M.; GOMES, C. M.; LAGO, B. C.; OLIVEIRA, S. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; FAVARIN, J. L. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 3, p. 170-176, 2017.
- ALONSO, M. P.; MORAES, E. H. B. K.; PINA, D. S.; PERREIRA, D. H.; MOMBACH, M. A.; GIMENEZ, B. M.; WRUCK, F. J. Suplementação concentrada para bovinos de corte em sistema de integração lavoura e pecuária no período das águas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 339-349, 2014.
- ALVES, R. C.; BREMM, C.; NUNES, C. L. R.; BARRO, R. S.; BARTH NETO, A.; SCHONS, R. M. T.; CAETANO, L. A. M.; CARVALHO, P. C. F. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1406-1415, 2015.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Tópicos em Ciência do Solo. In: ARAÚJO, A. P.; AVELAR, B. J. R., (Eds.) **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2013. cap. 8, p. 221-278.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- BONAUDO, T.; BENDAHAN, A. B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGER, F.; MAGDA, D.; TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.
- BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.
- BONO, J. A. M.; RODRIGUES, A. P. D. C.; MAUAD, M.; ALBUQUERQUE, J. C.; YAMAMOTO, C. R.; CHERMOUTH, K. S.; FREITAS, M. E. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 91-102, 2008.
- BOURSCHEIDT, M. L. B.; PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, H. D.; ZANETTE, M. C.; DEVENS, J. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 3, p. 137-147, 2019.

BRAZ, F. P.; MION, T. D.; GAMEIRO, A. H. Análise socioeconômica comparativa de sistemas de integração lavoura-pecuária em propriedades rurais nas regiões sul, sudoeste e centro-oeste do Brasil. **Informações econômicas**, v. 42, n. 2, p. 69-82, 2012.

CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017.

CASTRO, C. S.; LOBO, U. G. M.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 4, p. 48-54, 2016.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 32, n. 1, p. 15-53, 2015.

COSTA, N. L.; MORAES, A.; MOTTA, A. C. V.; MONTEIRO, A. L. G.; CARVALHO, P. C. F.; OLIVEIRA, R. A. Acúmulo de forragem e morfogênese de *Trachypogon plumosus* sob diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 518-529, 2014.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; LIMA, C. G. R.; CASTILHOS, A. M.; SOUZA, D. M.; BONINI, C. S. B.; PARIZ, C. M. Yield and nutritive value of the silage of corn intercropped with tropical perennial grasses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 63-73, 2017.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V.; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. **Produção de milho na agricultura familiar**. Circular técnica, n. 159, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011, 42p.

DI NASSO, N. N.; LASORELLA, M.; RONCUCCIA, N.; BONARIA, E. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean. **Industrial Crops and Products**, v. 65, p. 21-26, 2015.

DUARTE, P. M.; SANTANA, V. T. P.; DALMAS, A. D.; FERRI, I. E. B. Integração Lavoura-Pecuária (ILP): uma revisão literária. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 106-109, 2018.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.

FLORES, R. A.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R.; COLLIER, L. S.; MORAIS, R. F.; PRADO, R. M. Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-

elefante no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1282-1288, 2012.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; CELESTRINO, T. S.; LOPES, K. S. M. Desempenho agrônomo da cultura do milho e espécies forrageiras em sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 589-595, 2013.

GIMENES, F. M. A.; BARBOSA, H. Z.; GERDES, L.; GIACOMINI, A. A.; BATISTA, K.; MATTOS, W. T.; PREMAZZI, L. M.; MIGUEL, A. N. V. The utilization of tropical legumes to provide nitrogen to pastures: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 85-92, 2017.

GLÉRIA, A. A.; SILVA, R. M.; SANTOS, A. P. P.; SANTOS, K.J. G.; PAIM, T. P. Produção de bovinos de corte em sistemas de integração lavoura pecuária. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 253, p. 141-150, 2017.

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. R.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação da biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014.

GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, E. A.; SIMÃO, E. P.; CAMPANHA, M. M. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p. 183-191, 2014.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L.; LUZ, L. V.; BARCELLOS, A. L. Ciclagem de nitrogênio em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Ciência e Natura**, v. 36, ed. esp, p. 663-676, 2014.

HOTT, M. C.; MARTINS, C. E.; LIMA, V. M. B.; LOPES, D. O.; ARAÚJO, P. C. Cadastro geográfico para suporte à estudos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 5, p. 1521-1529, 2019.

IWAMOTO, B. S.; CECATO, U; RIBEIRO, O. L.; MARI, G. C.; PELUSO, E. P.; LINS, T. O. J. D. Produção e composição morfológica do capim-tanzânia fertilizado com nitrogênio nas estações do ano. **Bioscience**, v. 30, n. 2, p. 530-538, 2014.

KUNRATH, T. R.; CARVALHO, P. C. F.; CADENAZZI, M.; BREDEMEIER, C.; ANGHINONI, I. Grazing management in an integrated croplivestock system: soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 645-653, 2015.

LANA, M. C.; CZYCZA, R. V.; ROSSET, J. S.; FRANDOLOSO, J. F. Maize nitrogen fertilization in two crop rotation systems under no-till. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 852-862, 2013.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000. 42 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 62).

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. esp., p. 133-146, 2009.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; DINIZ, A. R.; SANTOS, L. L.; MENEZES, C. E. G. Ciclagem de nutrientes em diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, p. 1222- 1237, 2015.

MARTIN, G., MORAINÉ, M., RYSCHAWY, J., MAGNE, M., ASAI, M., SARTHOU, J., DURU, M., THEROND, O. Crop–livestock integration beyond the farm level: a review, **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 53, p. 2-21, 2016.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CASTILHOS, A. M. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 433-447, 2016.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; ASSMANN, T. S.; DEISS, L.; NUNES, P. A. A. Sistemas integrados de produção agropecuária: conceitos básicos e histórico no Brasil. 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**. Tubarão: Copiart, 2018, 692 p.

NARDINO, M.; BARETTA, D.; CARVALHO, I. R.; FOLLMANN, D. N.; KONFLANZ, V. A.; SOUZA, V. Q.; OLIVEIRA, A.; MAIA, L. C. Correlações fenotípica, genética e de ambiente entre caracteres de milho híbrido da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 3, p. 379-394, 2016.

OLIVEIRA, E. R.; MONÇÃO, F. P.; GABRIEL, A. M. A.; SILVA, L. H. X.; CARBONARI, V. M. S.; PEDROSO, F. W.; PEREIRA, T. L.; NASCIMENTO, F. A. Valor nutricional do colmo de gramíneas tropicais. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 256-264, 2016.

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTILHOS, A. M.; MEIRELLES, P. R. L.; ROÇA, R. O.; PINHEIRO, R. S. B.; KUWAHARA, F. A.; MARTELLO, J. M.; CAVASANO, F. A.; YASUOKA, J. I.; SARTO, J. R. W.; MELO, V. F. P.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lamb production responses to grass grazing in a companion crop system with corn silage and oversowing of yellow oat in a tropical region. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 1-111, 2017.

PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z.; YANO, E. H.; MIRANDA, E. E. V.; CRUSCIOL, C. A. C. Autumm maize intercropped with tropical forage: crop residues, nutriente cycling, subsequent soybean and soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. e0150003, 2016.

PEREIRA, J. R.; MONTAGNER, M. M.; SARTOR, L. R.; NERES, M. A.; FLUCK, A. C.; FARIA, P. P. Modelo conceitual do sistema de integração milho - bovinos de corte. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, n. 12, p. 01-14, 2017.

PIRES, B. S. DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. C. R. Modelo de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 635-342, 2012.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 2014.

ROSADO, T. L.; GONTIJO, I. Adubação nitrogenada em pastagens: os resultados promissores obtidos na pesquisa e a realidade enfrentada pelos produtores. **Vértices**, v. 19, n. 1, p. 163-174, 2017.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

ROTA, A.; SPERANDINI, S. **Integrated crop-livestock farming systems**. Livestock Thematic Paper, IFAD 1–8, 2011.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering Integrated Crop-Livestock Systems in North America. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 325-334, 2007.

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, n. 8, p. 1315-1322, 2011.

SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1661-1674, 2008.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no Cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; PITTA, C. S. R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of na alexandergrass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 899-906, 2011.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. 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, 2007.

SILVA, J. A. N.; SOUZA, C. M. A.; SILVA, C. J.; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 769-775, 2012.

SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; OLIVEIRA, C. A. A.; FERREIRA, C. J. B.; TEIXEIRA, I. R.; ALMEIDA, K. L.; CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 429-440, 2019.

SOUZA, M. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SILVA, J. R. I.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; SILVA, T. G. F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, n. 5, p. 1-9, 2018.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

SULC, M. R.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop-livestock system in different ecoregions of de United States. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 21-30, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TOBIN, C.; SINGH, S.; KUMAR, S.; WANG, T.; SEXTON, P. Demonstrating short-term impacts of grazing and cover crops on soil health and economic benefits in an Integrates Crop-Livestock System in South Dakota. **Open Journal of Soil Science**, v. 10, n. 3, p. 109-136, 2020.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; SCARSI, M.; SGARBOSSA, M. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 286-291, 2012.

VIANA, J. S.; BARBOSA, J. G.; SILVA, J. A.; BRITTO, T. R. C.; BADJI, C. A. Integração soja e pastagem: Uma revisão de literatura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 71-75, 2015.

2 CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DE MILHO SILAGEM EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

RESUMO

Devido à grande exportação do material vegetal, o consórcio de milho com gramíneas forrageiras tropicais em sistemas de integração lavoura-pecuária para silagem é uma alternativa, servindo de alimento aos animais e proporcionando maior cobertura do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do cultivo do milho solteiro ou consorciado com gramíneas forrageiras tropicais, conduzidos em sistema de integração lavoura-pecuária, na presença ou ausência de adubação nitrogenada, sobre as características agronômicas e produtividade do milho silagem. O experimento foi realizado entre outubro de 2017 e janeiro de 2020, em Marechal Cândido Rondon – PR, em blocos ao acaso, com parcelas sub-subdivididas com uma testemunha adicional e quatro repetições. As parcelas foram constituídas por duas espécies forrageiras consorciadas com o milho: *Urochloa brizantha* e *Magathyrsus maximum*, mais a testemunha adicional (milho solteiro). As subparcelas consistiram dos manejos das forrageiras: fenação e pastejo; e nas sub-subparcelas, a presença ou ausência de adubação nitrogenada. Foram determinados: estande final de plantas, altura de plantas, altura da inserção de espiga, diâmetro do colmo e produtividade total de matéria seca. O consórcio não comprometeu os componentes de produção e aumentou 5 toneladas de produtividade de matéria seca do milho silagem. A utilização de milho em consórcio com gramíneas perenes tropicais é uma alternativa, por apresentar vantagem de produzir pastagem no período da entressafra e/ou palhada para seguimento do sistema plantio direto.

Palavras-chave: *Zea Mays* L., *Urochloa brizantha*, *Magathyrsus maximum*.

AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF CORN FOR SILAGE IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK

ABSTRACT

Due to the large export of plant material, the intercropped of corn for silage with tropical forage grasses in crop-livestock integration systems is an alternative, serving as food for the animals and providing greater soil coverage. The objective of this study was to evaluate the effect of single corn crop and intercropped with tropical grasses, conducted in integrated crop-livestock system in the presence or absence of nitrogen fertilization on the agronomic characteristics and productivity of corn for silage. The experiment was carried out between October 2017 and January 2020, in Marechal Cândido Rondon - PR, in random blocks in a split split plot design with an additional control, with four repetitions. The plots consisted of two forage species: *Urochloa brizantha* and *Magathyrus maximum*, plus the additional control (single corn crop). The subplots consisted of forage management: hay and grazing; and in the sub-subplots, the presence or absence of nitrogen fertilization. Were determined: the final plant stand, plant height, spike insertion height, stem diameter and total dry matter productivity. The intercropped did not compromise the components of production and increased 5 tons of dry matter productivity of corn silage. The use of corn intercropped with tropical perennial grasses is a viable option for the producer to present advantage of providing pasture in the period between harvests and/or straw to follow the no-tillage system.

Key words: *Zea Mays* L., *Urochloa brizantha*, *Magathyrus maximum*

2.1 INTRODUÇÃO

A região Oeste paranaense destaca-se no cenário nacional por ser formada predominantemente por pequenas propriedades, as quais têm sua economia voltada para a produção agrícola e animal. Isso faz com que o produtor utilize o milho para a produção de silagem, como instrumento para auxiliar na manutenção da produção animal, especialmente durante o período de entressafra, onde há escassez de alimentos.

No entanto, o milho cultivado para produção de silagem de forma solteira, apesar de extrema viabilidade para alimentação animal, poderá resultar em consequências negativas ao solo e redução da produtividade ao longo dos anos de cultivo. Isso ocorre em função da retirada total da biomassa vegetal da superfície do solo, deixando-o exposto a ação de processos erosivos, além de elevar a temperatura, diminuir a umidade, atividade microbológica e compactação da camada superficial gerada pelo tráfego de máquinas. Ademais, a cultura exporta grande quantidade de nutrientes (COSTA et al., 2015) na matéria seca colhida, podendo promover o esgotamento da fertilidade do solo e redução da capacidade produtiva ao longo dos anos.

Como forma de reduzir os problemas promovidos por este sistema e intensificar o uso do solo de forma sustentável, surgem os cultivos consorciados, com duas ou mais espécies vegetais cultivadas simultaneamente em uma mesma área. Busca-se com este consórcio o aumento na produtividade de matéria seca, melhoria nutricional da silagem e benefícios para o sistema de produção como um todo (CHIEZA et al., 2017; BERNARDES et al., 2014).

No Brasil, em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPAs) o período agrícola é normalmente no verão, onde as culturas anuais, graníferas, são cultivadas em consórcio com gramíneas forrageiras tropicais, como as dos gêneros *Urochloa* e *Magathysus* (PARIZ et al., 2009; FERREIRA et al., 2017) e alternadas com o gado pastejando após a colheita (CARVALHO et al., 2010).

O consórcio de milho com forrageiras vem se tornando uma alternativa adequada, devido as inúmeras finalidades que o mesmo possui e facilidade de adaptação em meio ao consórcio (COSTA et al., 2010; SANTOS et al., 2017). Esta técnica permite antecipar o estabelecimento da pastagem para pastejo, produção de silagem, de feno ou ainda, formação de palhada para o segmento do sistema de plantio direto (SPD) (BARDUCCI et al., 2009; PARIZ et al., 2011; VILELA et al., 2011;).

Embora o sistema seja considerado uma excelente alternativa produtiva, com a retirada da cultura principal, as forrageiras poderão ter seu desenvolvimento limitado pela baixa

disponibilidade de nutrientes, especialmente o nitrogênio (N), podendo comprometer a produtividade da pastagem. Dessa forma, os estudos da adubação nitrogenada em sistemas consorciados são de extrema importância.

Com base na hipótese de que a adubação nitrogenada e os manejos das espécies forrageiras irão promover incremento na produtividade do milho silagem em sucessão, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo do milho solteiro ou consorciado com gramíneas forrageiras tropicais, *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximum*, estas conduzidas em sistema de integração lavoura-pecuária, na presença ou ausência de adubação nitrogenada, nas características agrônômicas e produtividade da cultura do milho silagem.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no período de 04 de outubro de 2017 a 11 de janeiro de 2020, em condições de campo, na Estação Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa” (latitude 24°24'31"58"S e longitude 54°01'10"W; altitude aproximada de 400 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* Marechal Cândido Rondon, localizado na região Oeste do Paraná.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018) e o clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperaturas médias variando entre 22°C e 23°C e precipitação média anual de 1.500 mm (ALVARES et al., 2014). Os dados climáticos referentes ao período experimental (Figura 1) foram obtidos junto da Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, localizada próximo à 200 m da área experimental.

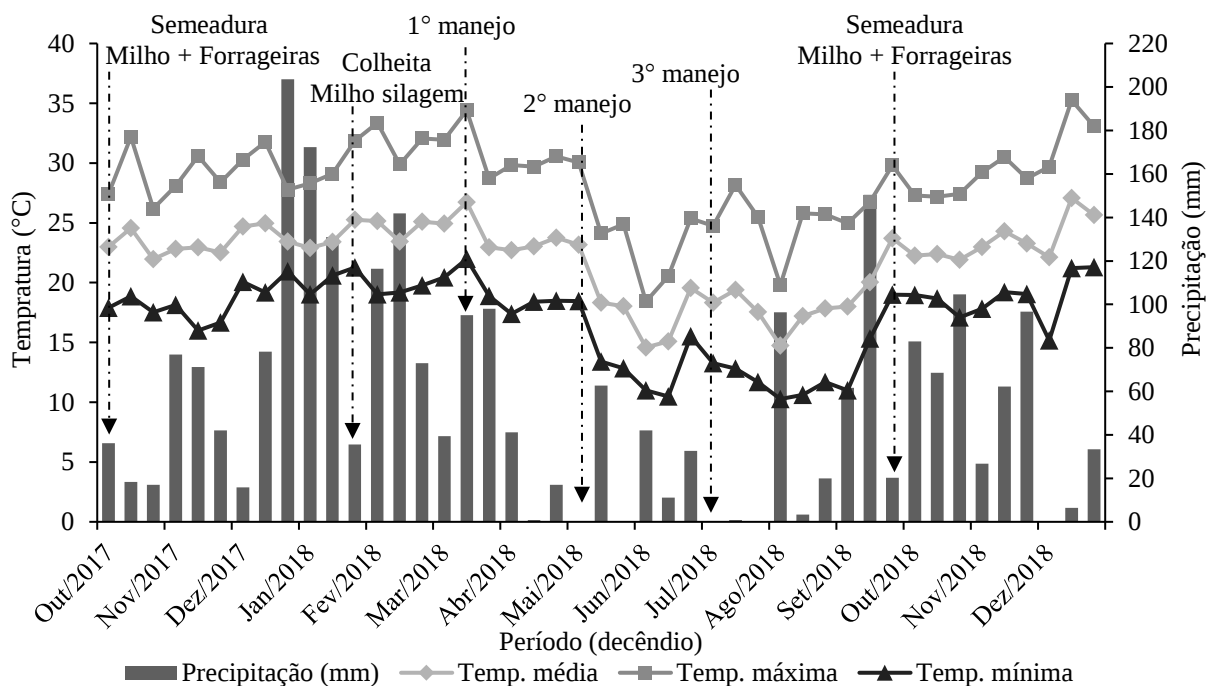


Figura 1 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de outubro/2017 a dezembro/2018.

Fonte: UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon – PR.

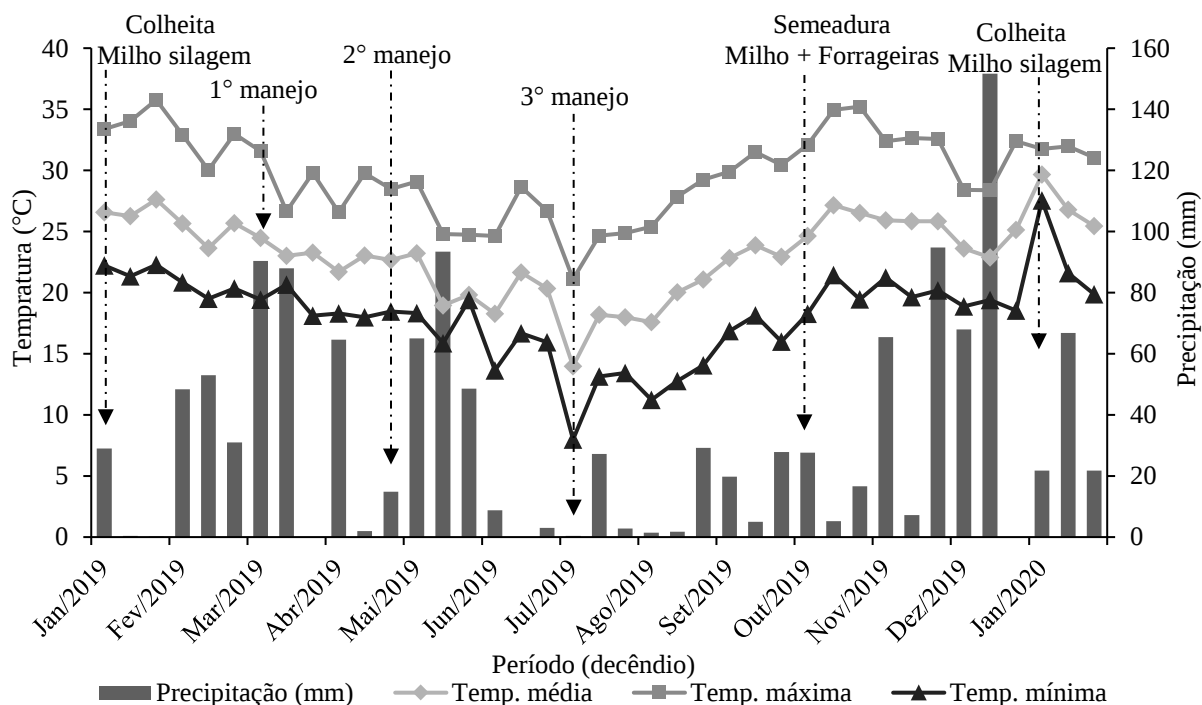


Figura 2 - Temperatura (°C) máxima, média e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio durante o período de condução do experimento, de janeiro/2019 a janeiro/2020.

Fonte: UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon – PR.

A área experimental vinha sendo manejada sob sistema de preparo convencional do solo e em monocultura, com cultivo de milho para grãos e silagem. Para a caracterização do solo, em agosto de 2017 foi realizada análise química do solo, no entanto, não houve necessidade de calagem (Tabela 1). Antecedendo à semeadura, realizou-se o preparo solo de forma convencional, com uma aração e uma gradagem.

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, antes da implantação do experimento (2017)

Camadas	P	MO	pH	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			
0 – 0,1	32,89	19,14	6,29	3,36	0,00	0,26	5,71	3,29	9,27	12,63
0,1 – 0,2	21,14	19,14	6,04	3,97	0,00	0,24	5,39	3,05	8,68	12,65
Camadas	V		Argila		Silte		Areia			
m	% dm ⁻³		-----		g kg ⁻¹ -----		-----			
0 – 0,1	73,39		652		290,14		54,82			
0,1 – 0,2	68,61		740		202,04		57,96			

P e K – Extrator Mehlich⁻¹; Al, Ca e Mg – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – pH SMP (7,5).

2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com tratamento adicional (milho solteiro) e quatro repetições. Nas parcelas (10 x 15 m), foram alocadas as duas espécies forrageiras (*Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximum*), em consórcio com o milho, mais a parcela pousio. Nas subparcelas (10 x 7,5 m), foram alocados os manejos das forrageiras: fenação e pastejo; e nas sub-subparcelas (5 x 7,5 m), a presença ou ausência de adubação nitrogenada. Cada bloco possuía área de 900 m² (45 x 20 m), totalizando 3.600 m² de experimento.

2.2.3 Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras

Para a implantação do experimento na safra de 2018/2019 e 2019/2020, a área foi dessecada com aplicação sequencial, com intervalo de dez dias, utilizando-se 792 g L⁻¹ (i.a) de Glifosato-sal de Isopropilamina + 240 g L⁻¹ (i.a) de Clethodim.

A semeadura do milho solteiro e em consórcio simultâneo com as forrageiras *Urochloa brizantha* cv. Braúna e *Megathyrsus maximum* cv. Áries, ocorreu no dia 04 de outubro de 2017 (cultivar COODETEC 384 PW), 24 de setembro de 2018 (cultivar COODETEC 384 PW) e 04 de outubro de 2019 (MORGAN 30A91 PW), de forma mecanizada, utilizando 36 kg de N, 53 kg de P₂O₅ e 53 kg de K₂O ha⁻¹, 5 sementes por metro, 5 cm de profundidade de deposição das

sementes e 0,75 m de espaçamento entre linhas, com população final estimada de 66.666 plantas ha^{-1} . As sementes utilizadas foram tratadas com inseticida e fungicida, Imidacloprido ($150 \text{ g L}^{-1} \text{ i.a}$) + Tiodicarbe ($450 \text{ g L}^{-1} \text{ i.a}$) e Carbendazim ($150 \text{ g L}^{-1} \text{ i.a}$) + Tiram ($350 \text{ g L}^{-1} \text{ i.a}$), respectivamente.

Na primeira safra (2017/2018) as forrageiras foram semeadas à lanço, seguida de uma gradagem leve para incorporação. Para a segunda (2018/2019) e terceira (2019/2020) safras, as forrageiras foram semeadas na entrelinha do milho, de forma mecânica, logo após a implantação da cultura do milho. Independentemente da forma com que as forrageiras foram semeadas, utilizou-se 6 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis de *Urochloa brizantha* cv. Braúna e 5 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis de *Megathyrus maximum* cv. Áries.

Em relação aos tratamentos fitossanitários da cultura do milho, a aplicação de inseticidas e fungicidas foram realizadas de acordo com a necessidade, no entanto, não foram realizadas aplicações de herbicidas ou capina manual para o controle de plantas daninhas.

Na cultura do milho, a aplicação de nitrogênio (N) em cobertura foi realizada utilizando 200 kg ha^{-1} de N na forma ureia, em duas aplicações, a lanço e sem incorporação, quando o milho se encontrava no estágio fenológico V4 e V6, com ocorrência de chuvas logo após as aplicações.

A colheita do milho silagem foi realizada no estágio R5, ou seja, quando os grãos estavam na fase farináceo-duro, ou com 2/3da linha do leite.

2.2.4 Manejos das forrageiras

Após o corte do milho para silagem, as forrageiras receberam a primeira aplicação de N em cobertura, 100 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, para os tratamentos com adubação nitrogenada na sub-parcela. Após essa fase, a área permaneceu vedada por um período de 30 a 40 dias, até que as plantas atingissem a altura adequada para pastejo ($\pm 50 \text{ cm}$) (JOCHIMS et al., 2018).

Os manejos adotados foram pastejo e fenação, com critério baseado na altura do dossel das plantas, em torno de 50 cm (JOCHIMS et al., 2018). Os manejos, tanto pastejo quanto a fenação, iniciaram de forma simultânea e o intervalo entre eles, correspondeu ao período de tempo necessário para o crescimento das forrageiras.

Para os pastejos, foram utilizados vinte animais da raça holandesa em fase de lactação, com peso médio de 650 kg. Os pastejos eram realizados durante duas horas diárias, no período

matutino, até que a resteva atingisse cerca de 15 cm (JOCHIMS et al., 2018) de forma que não ocorresse danos no meristema apical das plantas.

Os cortes para fenação foram realizados de forma mecanizada, a uma altura de 15-20 cm (JOCHIMS et al., 2018), utilizando segadeira acoplada no trator. Posteriormente, o material passou pelo processo de desidratação e enfardamento.

Após os manejos, a área permanecia vedada por um período de tempo, o suficiente para garantir o desenvolvimento das forrageiras, após o qual foi realizado os próximos manejos à semelhança do primeiro. Em 2018 os manejos foram iniciados aos 50, 91 e 158 dias após a colheita do milho silagem (DAC) e em 2019, aos 57, 117 e 189 DAC. Para ambos os anos, foram realizados três pastejos e três cortes para fenação.

Logo após cada manejo e recolha dos fardos de feno, os tratamentos com adubação nitrogenada receberam N em cobertura na dose de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, totalizando 400 kg ha⁻¹ de N aplicados nas forrageiras.

2.2.5 Avaliações realizadas

As colheitas do milho silagem foram realizadas de forma manual, dia 31 de janeiro de 2018, 03 janeiro de 2019 e 14 de janeiro de 2020, quando a maioria das plantas se encontravam no estágio R5, ou seja, quando os grãos estavam farináceo-duro. Neste momento, foram realizadas as avaliações das características agrônômicas, estado final de plantas, altura de plantas, altura da inserção de espiga, diâmetro do colmo e produtividade de matéria seca.

O estado final de plantas foi obtido contando-se o número de planta sequenciadas em amostras de 1 metro, em cinco pontos, em seguida, o valor foi transformado em plantas ha⁻¹. A altura de plantas (m) e altura de inserção da espiga, foram determinadas considerando dez plantas por parcela, medindo-se do nível do solo até a inserção da última folha e do nível do solo até a inserção da primeira espiga, respectivamente. O diâmetro do colmo (mm) foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital, em dez plantas tomadas ao acaso por parcela.

Após estas avaliações, as plantas foram cortadas manualmente na altura de corte (cerca de 20 cm acima do solo) em duas linhas centrais da parcela, com 3 metros lineares cada. A produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹) foi correspondente ao valor obtido após a correção da produção de matéria verde pela porcentagem de matéria seca obtida a 65°C.

2.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, de acordo com o resultado do teste F, havendo significância, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparações entre médias, ou o teste de Dunnett ao nível de 5% quando a interação fatorial vs adicional foi significativa.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que para o primeiro ano de condução experimental, os manejos empregados para as forrageiras (espécies, manejos de corte e adubação nitrogenada), ou o cultivo de milho solteiro (testemunha), influenciaram de forma significativa o diâmetro do colmo e produtividade de matéria seca (Tabela 2).

Tabela 2 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2019

FV	GL	POP	ALT	ALT INS
Bloco	3	97029700,4115	0,0406056	0,0174686
Espécies	1	98280200,0000 ^{ns}	0,0713715 ^{ns}	0,0221169 ^{ns}
Erro 1	3	31668106,1728	0,0223825	0,0031110
Manejos	1	77459755,5556 ^{ns}	0,0027643 ^{ns}	0,0410364 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	81068888,8889 ^{ns}	0,0474536 ^{ns}	0,0214725 ^{ns}
Erro 2	6	94813079,4239	0,0260185	0,0135142
Nitrogênio	1	8350422,2222 ^{ns}	0,0000047 ^{ns}	0,0000047 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	375555,5555 ^{ns}	0,0000002 ^{ns}	0,0000002 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	96799,9999 ^{ns}	0,0000001 ^{ns}	0,0000001 ^{ns}
Espécies X Manejos X Nitrogênio	1	49088,8889 ^{ns}	0,00000001 ^{ns}	0,0000002 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	5475506,5296 ^{ns}	0,0008215 ^{ns}	0,0019513 ^{ns}
Erro 3	12	80231630,7170	0,0015299	0,0020758
CV 1 (%)		9,78	6,76	5,39
CV 2 (%)		16,93	7,29	11,23
CV 3 (%)		15,57	1,77	4,40
FV	GL	DIAM	Nº ESP	MS
Bloco	3	0,5111	0,0186622	7606996,1195
Espécies	1	1,6514 ^{ns}	0,0035189 ^{ns}	36197859,7420*
Erro 1	3	0,7966	0,0142281	3699250,2959
Manejos	1	7,1033 ^{ns}	0,0196467 ^{ns}	31109402,9267 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,2443 ^{ns}	0,0224878 ^{ns}	14208951,4014 ^{ns}
Erro 2	6	6,1437	0,0229959	12147399,9165
Nitrogênio	1	0,0470 ^{ns}	0,0000060 ^{ns}	562314,4450 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,0021 ^{ns}	0,0000002 ^{ns}	12268,3071 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,0013 ^{ns}	0,0000006 ^{ns}	1324,4475 ^{ns}
Espécies X Manejos X Nitrogênio	1	0,0002 ^{ns}	0,0000015 ^{ns}	271,2438 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,9353*	0,0129410 ^{ns}	898657,5222*
Erro 3	12	0,0762	0,0007938	58532,3171
CV 1 (%)		4,67	12,63	13,21
CV 2 (%)		12,98	16,06	23,95
CV 3 (%)		1,45	2,98	1,66

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Para o segundo ano de condução, verificou-se que a interação fatorial vs adicional, influenciou de forma significativa na altura de plantas e altura de inserção da espiga (Tabela 3). De forma isolada, as espécies influenciaram na população de plantas e produtividade de matéria seca (Tabela 3).

Tabela 3 - Quadrado médio da população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção da espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (No ESP) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2020

FV	GL	POP	ALT	ALT INS
Bloco	3	72908148,148145	0,0336844	0,0200009
Espécies (E)	1	188180000,0000*	0,0012079 ^{ns}	0,0018000 ^{ns}
Erro 1	3	6705925,9259	0,0065348	0,0079462
Manejos (M)	1	149068888,8889 ^{ns}	0,0423114*	0,0606913*
Espécies X Manejos	1	18808888,8889 ^{ns}	0,0009031*	0,0122618 ^{ns}
Erro 2	6	79736666,6667	0,0068639	0,0065201
Nitrogênio (N)	1	129068888,8889 ^{ns}	0,0175688 ^{ns}	0,0043478 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	96142222,2222 ^{ns}	0,0061439 ^{ns}	0,0000349 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	24968888,8889 ^{ns}	0,0327168 ^{ns}	0,0272028 ^{ns}
E X M X N	1	34722222,2222 ^{ns}	0,02626632 ^{ns}	0,00483636 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	2987654,3209 ^{ns}	0,0442581*	0,0231053*
Erro 3	12	143345421,8107	0,0083451	0,0034973
CV 1 (%)		5,63	4,08	9,78
CV 2 (%)		19,38	4,19	8,86
CV 3 (%)		15,62	4,62	6,49
FV	GL	DIAM	Nº ESP	MS
Bloco	3	3,9360	0,035435	49023623,0089
Espécies (E)	1	4,2778 ^{ns}	0,002943 ^{ns}	98870859,4689*
Erro 1	3	1,3901	0,005610	3925167,8111
Manejos (M)	1	24,8865 ^{ns}	0,049758 ^{ns}	477199,3689 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	3,2513 ^{ns}	0,000418 ^{ns}	29330,4110 ^{ns}
Erro 2	6	2,2183	0,008363	36113669,6841
Nitrogênio	1	0,4900 ^{ns}	0,001920 ^{ns}	919458,4022 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,3403 ^{ns}	0,030463 ^{ns}	938449,9999 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,3160 ^{ns}	0,018119 ^{ns}	203659,6110 ^{ns}
E X M X N	1	8,1608 ^{ns}	0,000004 ^{ns}	18810524,4800 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	12,5668 ^{ns}	0,000106 ^{ns}	116576948,8602 ^{ns}
Erro 3	12	2,7853	0,028873	21499788,1288
CV 1 (%)		6,32	6,98	9,31
CV 2 (%)		7,99	8,52	18,22
CV 3 (%)		8,95	15,83	21,78

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Para a safra 2019/2020, a altura de plantas (2,14 m) e altura de inserção de espiga (1,03 m) foram superiores em relação ao milho solteiro (1,89 m e 0,92 m) para o consórcio de milho com *U. brizantha* pastejada e com aplicação N em cobertura após cada manejo (Tabela 4). Segundo Jakelaitis et al. (2010), a maior altura de planta de milho observada em consórcios em relação aos cultivos solteiros, pode estar associada à competição por luz, tornando a mesma

mais suscetível ao acamamento, entretanto, nas condições deste experimento, este problema não foi observado.

A altura de inserção de espiga é uma característica importante em sistemas consorciados, podendo influenciar diretamente na colheita de grãos, visto que, plantas com reduzida altura de espiga podem comprometer a colheita mecanizada (COSTA et al., 2012). Além disso, em sistemas consorciados, a maior altura de inserção de espiga pode reduzir riscos inerentes ao corte das gemas apicais da forrageira, reduzindo o tempo de vedação da área até o primeiro corte da forragem ou pastejo pelos animais (BORGHI et al., 2013).

De acordo com Neumann et al. (2011), para produção de silagem, o milho deve apresentar altura de planta entre 1,90 m e 2,60 m e altura de inserção de espiga de 0,80 m a 1,20 m. Nesta pesquisa, todos os tratamentos resultaram valores desejáveis, não havendo, portanto, razão para preocupar-se com este tipo de interferência.

Tabela 4 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial nos componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP)) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem, conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020

Manejo	POP (plantas ha ⁻¹)		ALT (m)		ALT INS (m)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Testemunha	54.371,64	46.064,82	2,21	1,89	1,05	0,92
⋮						
<i>M. maximum</i> /Fenação/Sem N	59.166,67	50.566,67	2,29	1,95 ^{ns}	1,12	0,92 ^{ns}
<i>M. maximum</i> /Fenação/Com N	60.216,67	42.766,67	2,29	1,96 ^{ns}	1,00	0,87 ^{ns}
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Sem N	52.683,33	44.400,00	2,23	2,02 ^{ns}	1,00	0,94 ^{ns}
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Com N	54.110,00	37.233,33	2,23	2,05 ^{ns}	1,01	0,95 ^{ns}
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	59.626,67	48.333,33	2,12	2,00 ^{ns}	1,01	0,93 ^{ns}
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	60.400,00	51.633,33	2,11	1,95 ^{ns}	1,02	0,82 ^{ns}
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	59.666,67	49.400,00	2,21	1,94 ^{ns}	1,00	0,97 ^{ns}
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	60.503,33	45.000,00	2,21	2,14 ⁺	1,00	1,03 ⁺
Média	57.860,64	46.064,82	2,21	1,99	1,03	0,92
	DIAM (mm)		Nº ESP (espiga/planta)		MS (kg ha ⁻¹)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Testemunha	18,69	17,15	0,99	1,08	14.153,23	16.710,68
⋮						
<i>M. maximum</i> /Fenação/Sem N	19,50 ⁺	17,84	0,87	1,02	15.101,94 ⁺	21.774,33
<i>M. maximum</i> /Fenação/Com N	19,57 ⁺	17,08	0,87	1,05	15.387,54 ⁺	19.399,87
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Sem N	18,36 ^{ns}	19,03	0,97	1,06	11.778,57 ⁻	20.265,07
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Com N	18,47 ^{ns}	20,69	0,97	1,19	12.101,54 ⁻	21.276,50
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	19,79 ⁺	18,40	0,97	1,07	15.929,71 ⁺	23.353,40
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	19,84 ⁺	19,26	0,94	0,98	16.148,63 ⁺	24.730,73
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	19,01 ^{ns}	20,34	0,94	1,10	15.283,41 ⁺	25.032,03
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	19,08 ^{ns}	19,57	0,94	1,10	15.516,41 ⁺	23.661,67
Média	19,15	18,82	0,94	1,07	14.600,11	21.800,48

⁺: significativo e superior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ⁻ significativo e inferior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Para a safra 2018/2019, o diâmetro do colmo das plantas de milho foi superior a testemunha (18,69 mm) quando as plantas foram submetidas ao manejo de fenação (±19,68 mm), com ou sem N aplicado nas forrageiras (Tabela 4).

O colmo é uma estrutura da planta associada a translocação de sólidos solúveis, e quanto maior for seu diâmetro, maior será sua eficiência de translocação e armazenamento de fotoassimilados. Ainda, essa estrutura atua na sustentação da planta, tornando-as mais resistentes ao tombamento pela ação das condições climáticas adversas, e formação dos grãos, consequentemente, resultando em maior produtividade (OLIGINI et al., 2019).

Em relação a produtividade de matéria seca, o consórcio com a *U. brizantha*, submetida a fenação ou pastejo e com ou sem adubação nitrogenada, foi superior em relação ao cultivo exclusivo do milho (testemunha). Por outro lado, quando a espécie *M. maximum* foi submetida ao pastejo, com ou sem N, a produtividade de matéria seca foi inferior em relação a testemunha (Tabela 4).

Garcia et al. (2013) avaliando o desempenho agrônômico do milho e espécies forrageiras em ILP, observaram que a produtividade de grãos de milho solteiro e em consórcio com forrageiras dos gêneros *Megathyrsus* e *Urochloa*, não apresentaram diferença significativa, mesmo com médias superiores nos consórcios em relação ao milho solteiro. Da mesma forma, Costa et al. (2017) verificaram que os consórcios de milho com *U. brizantha* (29,9 Mg ha⁻¹) e *M. maximum* (32,4 Mg ha⁻¹) não comprometeram os componentes de produção e produtividade do milho silagem em relação ao cultivo solteiro (36,6 Mg ha⁻¹).

Embora não tenha sido realizada a comparação entre os anos, é possível verificar que a produtividade de matéria seca do milho silagem para a safra 2018/2019 foi numericamente menor em relação à safra 2019/2020, uma diferença média de 7.200 kg ha⁻¹ (Tabela 4). Estes valores podem estar associados ao estresse hídrico ocorrido durante os estádios R1 (pendoamento) ao R3 (grão pastoso) da primeira safra em relação a segunda (± 1 e 2° decêndio de dezembro) (Figuras 1 e 2), podendo ter comprometido o acúmulo de massa nos grãos e, consequentemente, reduzir a produtividade.

A ausência de efeito significativo da adubação nitrogenada nas forrageiras após cada manejo sobre os componentes de produção e produtividade do milho silagem, pode estar associado ao fato da cultura do milho ter recebido 200 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Dessa forma, não é possível afirmar que o N residual, oriundo da adubação química nas forrageiras, pode reduzir ou eliminar a necessidade de aplicação em cultivos posteriores, como é o caso do milho.

Silva et al. (2017) investigando o efeito residual de doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) aplicadas em pastos de capim-braquiária sobre a produção de milho para silagem, também não verificaram influência do efeito residual sobre a produtividade média de silagem de milho. Além disso, os mesmos autores afirmam que a adubação total da cultura subsequente à pastagem, mesmo que adubada, é essencial.

Dentro do fator espécie, constatou-se que a população de plantas e a produtividade de matéria seca foi superior para o milho em consórcio com a *U. brizantha* em relação a *M. maximum*, para a safra 2019/2020 (Tabela 5). Este resultado pode estar associado à dificuldade encontrada no momento da semeadura do milho sobre esta palhada. A grande quantidade de

matéria seca remanescente produzida, dificulta a deposição da semente de forma ideal no solo, prejudicando a germinação e estabelecimento da cultura.

Resultados semelhantes foram encontrados por Barducci et al. (2009), em que o cultivo simultâneo de milho com *M. maximum* comprometeu a produtividade de grãos, e que o melhor consórcio a ser utilizado, visando à utilização em sistemas de produção, foi o consórcio de milho com *U. brizantha*. No entanto, resultados contraditórios foram obtidos por Ferreira et al. (2017) avaliando a influência de espaçamentos no consórcio de milho silagem com forrageiras tropicais, verificaram que o consórcio de milho com *M. maximum* apresentou produtividade superior em relação a *U. brizantha*.

Dentro do fator espécie, constatou-se que a população de plantas e a produtividade de matéria seca foi estatisticamente superior para o milho em consórcio com a *U. brizantha* em relação a *M. maximum*, para a safra 2019/2020 (Tabela 5). Este resultado pode estar associado à dificuldade encontrada no momento da semeadura do milho sobre esta palhada. A grande quantidade de matéria seca remanescente produzida, dificulta a deposição da semente de forma ideal no solo, prejudicando a germinação e estabelecimento da cultura.

Barducci et al. (2009), observaram que o cultivo simultâneo de milho com *M. maximum* comprometeu a produtividade de grãos, e que o melhor consórcio a ser utilizado, visando à utilização em sistemas de produção, foi o consórcio de milho com *U. brizantha*. No entanto, resultados contraditórios foram obtidos por Ferreira et al. (2017) avaliando a influência de espaçamentos no consórcio de milho silagem com forrageiras tropicais, os quais verificaram que o consórcio de milho com *M. maximum* apresentou produtividade superior em relação a *U. brizantha*.

Tabela 5 - Componentes de produção (população de plantas (POP), altura de plantas (ALT), altura de inserção de espiga (ALT INS), diâmetro do colmo (DIAM), número de espigas por planta (Nº ESP)) e produtividade de matéria seca (MS) de milho silagem, conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020

Espécies	POP (plantas ha ⁻¹) (2019)	POP (plantas ha ⁻¹) (2020)	ALT (m) (2019)	ALT (m) (2020)
<i>M. maximum</i>	56.544,17	43.741,67 b	2,26	1,2
<i>U. brizantha</i>	60.049,17	48.591,67 a	2,16	2,01
Manejos				
Pastejo	56.740,83	44.008,33	2,22	2,04
Fenação	59.852,50	48.325,00	2,30	1,97
Espécies	ALT INS (m) (2019)	ALT INS (m) (2020)	DIAM (mm) (2019)	DIAM (mm) (2020)
<i>M. maximum</i>	1,06	0,92	18,98	18,66
<i>U. brizantha</i>	1,00	0,93	19,43	19,39
Manejos				
Pastejo	0,99	0,97	18,73	19,91
Fenação	1,07	0,88	19,67	18,14
Espécies	Nº ESP (espiga/planta) (2019)	Nº ESP (espiga/planta) (2020)	PROD (kg ha ⁻¹) (2019)	PROD (kg ha ⁻¹) (2020)
<i>M. maximum</i>	0,92	1,08	13.592,40 b	20.678,94 b
<i>U. brizantha</i>	0,94	1,06	15.719,54 a	24.194,46 a
Manejos				
Pastejo	0,91	1,03	13.669,98	22.558,82
Fenação	0,96	1,11	15.641,96	22.314,58

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Tomando-se como base as produtividades médias obtidas por Mendonça et al. (2014), os quais avaliaram a produtividade de milho silagem em consórcio com forrageiras tropicais no Mato Grosso do Sul, obtiveram valores próximos aos da presente pesquisa, 20.433 kg ha⁻¹ de matéria seca de milho silagem quando em consórcio com *U. brizantha* cv. Marandu e 20.820 kg ha⁻¹ quando em consórcio com *M. maximum* cv. Áries.

Fica evidente que o consórcio de milho com forrageiras em sistema integração lavoura-pecuária é uma prática viável, pois, em uma mesma área, possibilita a produção de silagem e após a colheita, a forragem produzida pode ser cortada mecanicamente e fornecida no cocho para os animais em um ou diversos cortes (CRUSCIOL et al., 2012; BORGHI et al., 2013), pastejada ou ainda formação de palhada para continuidade do sistema plantio direto (PARIZ et al., 2011), potencializando o uso da área durante o ano.

2.4 CONCLUSÕES

O consórcio de milho com as forrageiras *Urochloa brizantha* e *Megathyrsus maximum*, não comprometeram os componentes de produção do milho e promoveram um incremento de 5 toneladas de produtividade de matéria seca.

O consórcio de milho com forrageiras é uma alternativa de manejo que além de manter a produtividade de silagem, possibilita a produzir alimentos para os animais na entressafra ou matéria seca para seguimento do sistema de plantio direto.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; de MORAES, J. L. G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- BARDUCCI, R. S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T. C.; SARTI, L. M. N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.
- BERNARDES, T. F.; RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1852-1861, 2014.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 629-636, 2013.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; DE MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. 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**, v. 88, p. 259-273, 2010.
- CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, E. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 189-196, 2017.
- COSTA, D. S.; BARBOSA, R. M.; SÁ, M. E. Sistemas de produção e cultivares de feijoeiro em consórcio com milho. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 6, p. 425-430, 2010.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1038-1047, 2012.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; LIMA, C. G. R.; CASTILHOS, A. M.; SOUZA, D. M.; BONINI, C. S. B.; PARIZ, C. M. Yield and nutritive value of the silage of corn intercropped with tropical perennial grasses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 63-73, 2017.
- CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E.; PARIZ, C. M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012.

FERREIRA, J. P.; ANDREOTTI, M.; PASCOALOTO, I. M.; COSTA, N. R.; AUGUSTO, J. G.; KANEKO, F. H. Espaçamento de cultivo de milho forrageiro consorciado com forrageiras tropicais para produção de silagens. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 133-141, 2017.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; CELESTRINO, T. S.; LOPES, K. S. M. Desempenho agrônomo da cultura do milho e espécies forrageiras em sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 589-595, 2013.

JAKELAITIS, A.; DANIEL, T. A. D.; ALEXANDRINO, E.; SIMÕES, L. P.; SOUZA, K. V.; LUDTKE, J. Cultivares de milho e de gramíneas forrageiras sob monocultivo e consorciação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 380-387, 2010.

JOCHIMS, F.; SILVA, P. A. P.; PORTES, V. M. Utilizando a altura do pasto como ferramenta de manejo de pastagens. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 2, p. 42-44, 2018.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; PEREIRA, F. C. B. L.; SILVA, J. O. R.; YANO, E. H. Corn production for silage intercropped with forage in the farming-cattle breeding integration. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 738-745, 2014.

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M. R.; ZANETTE, P. M.; UENO, R. K.; MARAFON, F.; SOUZA, M. P. **Aplicação de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal**. In: SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2011. v. 1. p. 95-132.

OLIGINI, K. F.; SALOMÃO, E. C.; BATISTA, V. V.; LINK, L.; ADAMI, P. F.; SARTOR, L. S. Produtividade de milho consorciado com espécies forrageiras no sudoeste do Paraná. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 36, p. 434-442, 2019.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; BARGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C. A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 360-370, 2009.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

SANTOS, P. R. A.; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R.; NICOLAU, F. E. A.; OLIVEIRA, J. L. P.; QUEIROZ, R. F. Características morfológicas e produtivas do milho no consórcio com forrageiras em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 7, p. 2031-2039, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. ; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. ; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. ; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2018. 356p.

SILVA, B. P. A.; CARNEVALLI, R. A.; SERENO, J. R. B.; NICODEMO, M. L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. Efeito residual de doses de nitrogênio aplicadas em pastos de campim-braquiária sobre a produção de milho para silagem em sistemas integrados. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, n. 27, p. 1-13, 2017.

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**, v. 46, n. 40, p. 1127-1138, 2011.

3 CAPÍTULO 2: MANEJO DAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM CONSÓRCIO COM MILHO PARA SILAGEM E ADUBAÇÃO NITROGENADA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

RESUMO

Os sistemas integrados de produção lavoura-pecuária (SIPAs) em associação ao sistema de semeadura direta, sofrem ação do pisoteio animal ou do tráfego intenso de máquinas agrícolas, podendo resultar em alterações nas propriedades físicas do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada e manejos das forrageiras tropicais nas propriedades físicas do solo. O experimento foi realizado entre outubro de 2017 e janeiro de 2020, em Marechal Cândido Rondon – PR, em blocos ao acaso, com parcelas sub-subdivididas com uma testemunha adicional e quatro repetições. As parcelas foram constituídas por duas espécies forrageiras consorciadas com o milho: *Urochloa brizantha* e *Magathyrus maximum*, mais a testemunha adicional (milho solteiro). As subparcelas consistiram nos manejos das forrageiras: fenação e pastejo; e nas sub-subparcelas, a presença ou ausência de adubação nitrogenada. Foram determinadas: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Ma) e microporosidade (Mi), além da resistência do solo à penetração (Rp). A utilização de nitrogênio (N) em cobertura nas forrageiras após os manejos, aumentou a quantidade de Ma na camada de 0-0,05 m para o primeiro ano. Os valores de Ds estão acima do limite considerado crítico para o desenvolvimento das plantas, porém, com tendência à redução. A adoção do SIPA, independente da espécie forrageira utilizada e manejo adotado, seja fenação ou pastejo, não comprometeu a qualidade física do solo, sendo assim, uma ótima alternativa para a diversificação da produção na propriedade.

Palavras-chave: resistência à penetração, porosidade, qualidade física do solo.

MANAGEMENT OF TROPICAL FORAGE IN CONSORTIUM WITH CORN FOR SILAGE AND NITROGEN FERTILIZATION IN SOIL PHYSICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The integrated crop-livestock production systems in association with the direct sowing system, suffer from the action of animal trampling or the heavy traffic of agricultural machinery, which may result in changes in the physical properties of the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of nitrogen fertilization and management of tropical forages on the soil physical properties. The experiment was carried out between October 2017 and January 2020, in Marechal Cândido Rondon - PR, in random blocks in a split-plots design with an additional control, with four repetitions. The plots consisted of two forage species: *Urochloa brizantha* and *Magathyrus maximum*, plus the additional control (single corn crop). The subplots consisted of forage management: hay and grazing; and in the sub-subplots, the presence or absence of nitrogen fertilization. Were determined: macroporosity, microporosity, total porosity, soil density and soil resistance to penetration. The use of N in cover in forages after management, increased the amount of macropores in the 0-0.05 m layer for the first year. The D_s values are above the limit considered critical for the development of the plants, however, with a tendency to decrease. The adoption of the integrated system, regardless of the forage species used and management adopted, be it hay or grazing, does not compromise the physical quality of the soil, thus being a great alternative for the diversification of production on the property.

Key words: resistance to penetration, porosity, physical quality of the soil.

3.1 INTRODUÇÃO

Desenvolver um sistema que produza alimentos atendendo às diversas necessidades de uma crescente população mundial, mantendo a qualidade ambiental, preservando recursos naturais e garantindo rentabilidade aos produtores, é um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade (FOLEY et al., 2011).

No Brasil, a adoção de sistemas diversificados de produção vem ganhando mais adeptos e seguidores, como alternativa aos sistemas de monocultivo (CARVALHO et al., 2016) como os monocultivos. Esses sistemas diversificados, como o Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (SILP), estão em crescente uso nas mais diversas regiões do país, otimizando o uso das áreas agrícolas onde as culturas graníferas associadas a pastagens, produzem grãos e alimentos para os animais (BORTOLINI et al., 2013), de forma temporal e espacial (ASAI et al., 2018).

Várias são as vantagens oriundas da adoção deste sistema, dentre elas, pode-se destacar a melhoria dos atributos físicos (FLÁVIO NETO et al., 2015; MORAINÉ et al., 2017), químicos (SILVA et al., 2014a) e biológicos do solo. Ainda, por favorecer a ciclagem e eficiência na utilização de nutrientes (MARTIN et al., 2016; MATTEI et al., 2018; RYSCHAWY et al., 2017), esses sistemas reduzem custos, diversificando e mantendo a estabilidade financeira dentro da propriedade (AMBUS et al., 2018; FRANCHINI et al., 2015). Embora sua aceitação seja expressiva, ainda há muitas dúvidas acerca dos efeitos negativos, especialmente no que se refere à qualidade física do solo, em função dos manejos realizados, como pisoteio animal e tráfego de máquinas (MORAES et al., 2014).

Embora sua aceitação seja expressiva, ainda há muitas dúvidas acerca dos efeitos negativos, especialmente no que se refere à qualidade física do solo, em função dos manejos realizados, como pisoteio animal e tráfego de máquinas (MORAES et al., 2014). Nas áreas de integração lavoura-pecuária, uma das principais causas da degradação é a compactação (VEIGA et al., 2012). Com o aumento da desta, há aumento na densidade, redução da porosidade e, conseqüentemente, aumento da resistência do solo à penetração, dificultando o crescimento radicular, reduzindo a infiltração e disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, proporcionando redução em produtividade (SHAH et al., 2017).

A extensão e a natureza desses efeitos são dependentes do tipo de solo, taxa de pisoteio animal e/ou tráfego de máquinas e principalmente umidade do solo durante os manejos. De acordo com Conte et al. (2011), a presença do animal na lavoura pode promover alterações na resistência do solo à penetração, no entanto, esses efeitos limitam-se às camadas superficiais do solo e podem ser revertidos com a cultura subsequente. Ainda, sob condições de adequada

fertilização do sistema, o maior crescimento radicular e maior produção de matéria seca, com mais palhada de cobertura e mais incorporação de carbono ao solo auxilia na redução destes efeitos negativos. Dentre os fertilizantes que mais impactam no desenvolvimento das plantas, destaca-se o nitrogênio, devido a sua alta responsividade e por ser requerido em maiores quantidades (SANTINI et al., 2016).

Contudo, a manutenção ou melhoria da qualidade do solo é fator primordial para uma agricultura sustentável (STEFANOSKI et al., 2013), bem como sua avaliação, a qual possibilita tomar decisões adequadas quanto ao manejo, visando à conservação do solo e maximização do rendimento das culturas.

Com base na hipótese de que a adubação nitrogenada e os manejos das espécies forrageiras promovem alterações na qualidade física do solo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adubação nitrogenada e manejos das forrageiras tropicais sobre as propriedades físicas do solo conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.1 do Capítulo 1.

3.2.2 Delineamento experimental

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.2 do Capítulo 1.

3.2.3 Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.3 do Capítulo 1.

3.2.4 Manejos das forrageiras

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.4 do Capítulo 1.

3.2.5 Avaliações realizadas

Finalizando os manejos das forrageiras, antecedendo a implantação da cultura do milho em sucessão (326 dias após a semeadura (DAS) do consórcio em 2018 e 319 DAS do consórcio em 2019), realizaram-se as coletas das amostras indeformadas para a determinação das propriedades físicas do solo. Foram coletadas três amostras indeformadas na área útil de cada parcela, nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com auxílio de anéis de aço de volume conhecido. No Laboratório de Física do solo do Centro de Ciências Agrárias/UNIOESTE, foram determinadas a macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), pelo método do anel volumétrico em mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017).

Neste mesmo período, realizou-se a determinação da resistência do solo à penetração, utilizando um penetrógrafo eletrônico modelo penetroLOG-Falker-PLG1020. Foram tomadas as leituras em dois pontos distintos e aleatórios em cada sub-subparcela, até a profundidade de 0,40 m. Além disso, coletou-se amostras de solo para a determinação da umidade gravimétrica.

3.2.6 Análise estatística

As informações sobre a análise estatística estão apresentadas no item 2.2.6 do Capítulo 1.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao testar os tratamentos no ano de 2018, foi observado que a adubação nitrogenada (presença ou ausência de N em cobertura nas plantas forrageiras após cada manejo) promoveu alterações na Ma na camada de 0-0,05 m (Tabela 6). A Ds sofreu influência da adubação nitrogenada, para a camada de 0,10-0,20 m (Tabela 6). As demais variáveis não sofreram influência dos tratamentos estudados (Tabela 6).

Tabela 6 - Quadrado médio da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2018

FV	GL	Ma (m ³ m ⁻³)			Mi (m ³ m ⁻³)		
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Bloco	3	0,000090	0,000543	0,000057	0,000278	0,001162	0,000518
Espécies (E)	1	0,000892 ^{ns}	0,000283 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,000012 ^{ns}	0,000350 ^{ns}	0,003034 ^{ns}
Erro 1	3	0,000091	0,000052	0,000322	0,000763	0,000807	0,000405
Manejos (M)	1	0,000534 ^{ns}	0,000575 ^{ns}	0,000242 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,000257 ^{ns}	0,000005 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,000117 ^{ns}	0,000616 ^{ns}	0,000165 ^{ns}	0,000378 ^{ns}	0,004634 ^{ns}	0,000188 ^{ns}
Erro 2	6	0,000229	0,000182	0,000404	0,001010	0,000627	0,001802
Nitrogênio (N)	1	0,002175*	0,000405 ^{ns}	0,000020 ^{ns}	0,000090 ^{ns}	0,000182 ^{ns}	0,002429 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,000430 ^{ns}	0,000063 ^{ns}	0,000029 ^{ns}	0,000721 ^{ns}	0,005417 ^{ns}	0,001050 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,000117 ^{ns}	0,000386 ^{ns}	0,000007 ^{ns}	0,000031 ^{ns}	0,000676 ^{ns}	0,000252 ^{ns}
E X M X N	1	0,000290 ^{ns}	0,000130 ^{ns}	0,000007 ^{ns}	0,000049 ^{ns}	0,004228 ^{ns}	0,000502 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,000399 ^{ns}	0,000652 ^{ns}	0,000004 ^{ns}	0,000925 ^{ns}	0,000056 ^{ns}	0,000676 ^{ns}
Erro 3	12	0,000238	0,000257	0,000199	0,000538	0,001349	0,000549
	32						
CV 1 (%)		24,18	16,26	38,27	6,05	6,42	4,59
CV 2 (%)		38,41	30,24	44,10	6,96	5,66	9,68
CV 3 (%)		39,18	35,96	37,99	5,08	8,30	5,34
		Pt (m ³ m ⁻³)			Ds (g cm ⁻³)		
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Bloco	3	0,000484	0,002144	0,000742	0,000494	0,001728	0,001857
Espécies (E)	1	0,001109 ^{ns}	0,000004 ^{ns}	0,003153 ^{ns}	0,000102 ^{ns}	0,002962 ^{ns}	0,004936 ^{ns}
Erro 1	3	0,001218	0,001136	0,001123	0,011428	0,002435	0,003528
Manejos (M)	1	0,000572 ^{ns}	0,000063 ^{ns}	0,000176 ^{ns}	0,003441 ^{ns}	0,017270 ^{ns}	0,001512 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,000914 ^{ns}	0,008629 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,003715 ^{ns}	0,001677 ^{ns}	0,001027 ^{ns}
Erro 2	6	0,002125	0,000994	0,003051	0,011537	0,002779	0,004646
Nitrogênio (N)	1	0,003149 ^{ns}	0,000044 ^{ns}	0,002886 ^{ns}	0,002360 ^{ns}	0,001061 ^{ns}	0,015200*
Espécies X Nitrogênio	1	0,000037 ^{ns}	0,004313 ^{ns}	0,001427 ^{ns}	0,001998 ^{ns}	0,004437 ^{ns}	0,000899 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,000268 ^{ns}	0,002085 ^{ns}	0,000177 ^{ns}	0,000160 ^{ns}	0,000116 ^{ns}	0,001098 ^{ns}
E X M X N	1	0,000101 ^{ns}	0,002874 ^{ns}	0,000626 ^{ns}	0,002753 ^{ns}	0,006692 ^{ns}	0,003328 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,002539 ^{ns}	0,001089 ^{ns}	0,000581 ^{ns}	0,001742 ^{ns}	0,002016 ^{ns}	0,008553 ^{ns}
Erro 3	12	0,000948	0,001856	0,001089	0,003079	0,005395	0,002048
CV 1 (%)		7,03	6,92	7,04	6,51	3,05	3,68
CV 2 (%)		9,29	6,47	11,61	6,54	3,26	4,23
CV 3 (%)		6,20	8,84	6,93	3,38	4,55	2,81

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Com relação aos resultados obtidos no ano de 2019 para Ma, Mi, Pt e Ds, não foram observadas diferenças significativas para as camadas estudadas, independente da espécie, manejos e adubação nitrogenada (Tabela 7).

Tabela 7 - Quadrado médio da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária no ano de 2019

FV	GL	Ma (m ³ m ⁻³)			Mi (m ³ m ⁻³)		
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Bloco	3	0,000400	0,000024	0,000563	0,000170	0,000248	0,003384
Espécies (E)	1	0,000021 ^{ns}	0,000490 ^{ns}	0,000056 ^{ns}	0,000020 ^{ns}	0,000122 ^{ns}	0,000691 ^{ns}
Erro 1	3	0,000116	0,000264	0,000119	0,000483	0,000842	0,000683
Manejos (M)	1	0,000025 ^{ns}	0,000173 ^{ns}	0,000065 ^{ns}	0,000009 ^{ns}	0,000044 ^{ns}	0,000468 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,000001 ^{ns}	0,0000001 ^{ns}	0,000013 ^{ns}	0,000149 ^{ns}	0,000235 ^{ns}	0,001626 ^{ns}
Erro 2	6	0,000199	0,000110	0,000192	0,000971	0,001208	0,004742
Nitrogênio (N)	1	0,000141 ^{ns}	0,000020 ^{ns}	0,000016 ^{ns}	0,000086 ^{ns}	0,000118 ^{ns}	0,000904 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,000120 ^{ns}	0,000029 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,000893 ^{ns}	0,001132 ^{ns}	0,002479 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,000002 ^{ns}	0,000050 ^{ns}	0,0000003 ^{ns}	0,000239 ^{ns}	0,001750 ^{ns}	0,000583 ^{ns}
E X M X N	1	0,000014 ^{ns}	0,000059 ^{ns}	0,000071 ^{ns}	0,000483 ^{ns}	0,001025 ^{ns}	0,002827 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,000218 ^{ns}	0,000283 ^{ns}	0,000054 ^{ns}	0,000210 ^{ns}	0,000027 ^{ns}	0,000291 ^{ns}
Erro 3	12	0,000093	0,000103	0,000137	0,000197	0,000418	0,001942
32							
CV 1 (%)		34,82	45,08	37,86	4,86	6,57	6,02
CV 2 (%)		45,63	29,10	48,15	6,89	7,86	15,85
CV 3 (%)		31,19	28,12	40,61	3,11	4,63	10,14
		Porosidade Total (m ³ m ⁻³)			Densidade do Solo (g cm ⁻³)		
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Bloco	3	0,001078	0,000235	0,006517	0,078383	0,049528	0,060321
Espécies (E)	1	0,000082 ^{ns}	0,001347 ^{ns}	0,000353 ^{ns}	0,030653 ^{ns}	0,012061 ^{ns}	0,001412 ^{ns}
Erro 1	3	0,000170	0,001681	0,000752	0,011235	0,001981	0,003231
Manejos (M)	1	0,000004 ^{ns}	0,000392 ^{ns}	0,000184 ^{ns}	0,026631 ^{ns}	0,040762 ^{ns}	0,078799 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,000123 ^{ns}	0,000233 ^{ns}	0,001348 ^{ns}	0,005934 ^{ns}	0,000218 ^{ns}	0,000794 ^{ns}
Erro 2	6	0,001633	0,001366	0,004488	0,014065	0,035463	0,020814
Nitrogênio (N)	1	0,000007 ^{ns}	0,000127 ^{ns}	0,000679 ^{ns}	0,008711 ^{ns}	0,005286 ^{ns}	0,003205 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,001667 ^{ns}	0,000113 ^{ns}	0,002370 ^{ns}	0,000763 ^{ns}	0,007002 ^{ns}	0,000092 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,000286 ^{ns}	0,002394 ^{ns}	0,000558 ^{ns}	0,000841 ^{ns}	0,011702 ^{ns}	0,003869 ^{ns}
E X M X N	1	0,000665 ^{ns}	0,001064 ^{ns}	0,002000 ^{ns}	0,000994 ^{ns}	0,006266 ^{ns}	0,000462 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,000001 ^{ns}	0,000036 ^{ns}	0,000594 ^{ns}	0,033235 ^{ns}	0,064309 ^{ns}	0,069309 ^{ns}
Erro 3	12	0,000481	0,000595	0,001643	0,010551	0,009553	0,013976
CV 1 (%)		2,70	8,67	5,92	7,39	3,13	4,01
CV 2 (%)		8,37	7,81	14,46	8,27	13,25	10,18
CV 3 (%)		4,54	5,16	8,75	7,16	6,88	8,34

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Para a Ma do solo, verificou-se que na camada de 0,0-0,05 m a mesma foi superior quando as forrageiras receberam adubação nitrogenada após cada manejo (0,05 m³ m⁻³), em relação aos tratamentos que não receberam a adubação (0,03 m³ m⁻³) para o ano de 2018 (Tabela 8).

A utilização de adubação nitrogenada em cobertura nas forrageiras tende a melhorar as condições físicas do solo, por modificar a estrutura das plantas, aumentando a produção de forragem (CASSOL et al., 2011; QUARTRIN et al., 2015) e produção de raízes, melhorando significativamente a aeração, infiltração de água (LOSS et al., 2012) e, conseqüentemente, a quantidade de macroporos.

Tabela 8 - Valores médios de macroporosidade (Ma) do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) manejado em sistema de integração lavoura-pecuária na presença ou ausência de adubação nitrogenada, 2018

Adubação N	Ma ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
	0,0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m
Com N	0,05 a	0,04 a	0,04 a
Sem N	0,03 b	0,05 a	0,04 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Para todas as camadas do solo, nos anos de 2018 e 2019, não houve interação entre o fatorial vs adicional, indicando que, independentemente da espécie, manejo e adubação nitrogenada, não há diferença em relação à testemunha (Tabela 9).

Embora na interação fatorial vs adicional não tenha sido encontrada diferenças significativas, os valores de macroporos encontrados são considerados restritivos ao crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo que os mesmos se mantiveram abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (ANDREOLLA et al., 2014). Os macroporos devem ser superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, para garantir trocas gasosas e crescimento do sistema radicular das plantas (ANDREOLLA et al., 2015a).

Os valores reduzidos de Ma podem estar associados aos valores elevados de Ds (Tabela 9). Silva et al. (2014b) avaliando diferentes coberturas vegetais e manejos, observaram que o pastejo da *Urochloa brizantha* promoveu aumento na Ds e na resistência à penetração, possivelmente devido ao pisoteio animal ocorrido na área.

Não houve tendência e diferenças significativas entre os tratamentos para a microporosidade (Mi), ficando os valores entre $0,41 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,48 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 9). De acordo com Souza et al. (2019), essa propriedade não é modificada pelo manejo do solo. Por outro lado, Richart et al. (2005) afirmaram que a distribuição de tamanho de poros varia de acordo com o uso e manejo do solo, assim, solos de mata nativa têm maior quantidade Ma em relação às áreas de lavoura em sistema plantio direto, onde o tráfego de máquinas aumenta a Ds, podendo favorecer a ocorrência de microporos.

Tabela 9 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, nos anos de 2018 e 2019

Manejo	Ma (2018)			Ma (2019)		
	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2
Testemunha	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
⋮						
<i>P. maximum</i> /Fenação/Sem N	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
<i>P. maximum</i> /Fenação/Com N	0,04	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Sem N	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Com N	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03
Média	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
Manejo	Mi (2018)			Mi (2019)		
	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2
Testemunha	0,44	0,45	0,43	0,45	0,44	0,44
⋮						
<i>P. maximum</i> /Fenação/Sem N	0,46	0,48	0,45	0,45	0,45	0,44
<i>P. maximum</i> /Fenação/Com N	0,47	0,43	0,46	0,46	0,43	0,40
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Sem N	0,45	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Com N	0,46	0,43	0,45	0,46	0,44	0,43
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	0,46	0,40	0,42	0,46	0,45	0,42
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	0,45	0,45	0,44	0,46	0,43	0,46
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	0,47	0,46	0,41	0,46	0,42	0,44
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	0,46	0,45	0,46	0,44	0,46	0,42
Média	0,46	0,44	0,44	0,45	0,44	0,43
Manejo	Pt (2018)			Pt (2019)		
	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2
Testemunha	0,47	0,50	0,47	0,48	0,47	0,47
⋮						
<i>P. maximum</i> /Fenação/Sem N	0,53	0,51	0,48	0,48	0,48	0,47
<i>P. maximum</i> /Fenação/Com N	0,50	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Sem N	0,50	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Com N	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,46
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	0,51	0,44	0,46	0,48	0,48	0,45
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	0,48	0,50	0,48	0,48	0,46	0,48
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	0,51	0,50	0,45	0,49	0,45	0,47
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	0,49	0,49	0,49	0,47	0,49	0,45
Média	0,50	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46
Manejo	Ds (2018)			Ds (2019)		
	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2
Testemunha	1,66	1,63	1,65	1,51	1,53	1,53
⋮						
<i>P. maximum</i> /Fenação/Sem N	1,59	1,60	1,56	1,45	1,47	1,43
<i>P. maximum</i> /Fenação/Com N	1,64	1,57	1,69	1,40	1,35	1,47
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Sem N	1,65	1,61	1,61	1,36	1,33	1,35
<i>P. maximum</i> /Pastejo/Com N	1,66	1,62	1,59	1,32	1,34	1,33
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	1,65	1,56	1,60	1,46	1,45	1,41
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	1,63	1,62	1,58	1,46	1,44	1,45
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	1,63	1,65	1,55	1,45	1,37	1,33
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	1,65	1,65	1,63	1,41	1,39	1,34
Média	1,64	1,61	1,61	1,43	1,41	1,40

*: significativo e superior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; - significativo e inferior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Em geral, os valores de Pt não apresentaram alterações expressivas por parte dos manejos. Estudando pastagens sob sistema plantio direto Moreira et al. (2012) e Balbinot Junior et al. (2011), observaram que o pisoteio animal não apresentou evidências de ter influenciado negativamente nos atributos físicos do solo. Além disso, as raízes das culturas subsequentes contribuem para melhoria da qualidade física do solo, mesmo tendo pisoteio animal ou tráfego de máquinas.

Corroborando com os resultados deste estudo, Conte et al. (2011) ao estudarem a evolução dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho em sistema de ILP no Rio Grande do Sul, verificaram que os valores de Pt não sofreram alterações significativas após 7 anos sob ILP.

A Pt é a soma da Ma e da Mi (SARTORI et al., 2016), no entanto, quando é composta basicamente por macroporos, o solo apresenta baixa capacidade de retenção de água, tornando-o mais suscetível à degradação física (ARCOVERDE et al., 2015). Além disso, segundo os mesmos autores, solos com Pt abaixo de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são considerados restritivos, dificultando a sua utilização para fins agrícolas.

Para ser considerado um solo ideal, o mesmo deve apresentar características físicas como volume e dimensão de poros adequados para entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas (SILVA et al., 2012a). Para Kiehl (1979), um solo pode ser classificado ideal quando apresenta uma proporção de 50% de Pt, sendo 1/3 macroporos e 2/3 microporos.

Em relação a compactação do solo, durante os dois anos de duração do estudo, os valores de densidade do solo (Ds) não apresentaram diferença significativa entre os valores observados e, independente da espécie forrageira utilizada, manejo empregado e adubação nitrogenada, estes valores variaram entre $1,32 \text{ g m}^{-3}$ a $1,69 \text{ g m}^{-3}$ (Tabela 9).

Reinert et al. (2008) e Reichert et al. (2009) propuseram valores críticos de Ds para solos argilosos de $1,30$ a $1,40 \text{ g cm}^{-3}$. Portanto, de acordo com a pesquisa desenvolvida por estes autores e considerando a classe textural do solo, os valores de Ds observados neste estudo situam-se acima dos valores críticos para as três camadas avaliadas.

Embora não tenha sido realizada a comparação estatística entre os anos, observa-se que os valores de Ds para o primeiro ano de condução, foram numericamente maiores em relação ao segundo (Tabela 9). Além disso, para o segundo ano, nenhum dos valores encontrados para os tratamentos do fatorial ficaram acima dos valores encontrados para a testemunha, comportamento observado para todas as camadas do solo (Tabela 9).

Estes resultados de Ds podem ser explicados pelo fato das plantas utilizadas serem forrageiras do gênero *Urochloa* e *Megathyrsus*, as quais amenizam o impacto negativo do pisoteio animal e distribuem de modo uniforme o peso das máquinas e implementos agrícolas (MORAES et al., 2012). Na testemunha, este resultado pode ser atribuído, além da ausência de plantas forrageiras/material vegetal, ao preparo do solo com aração e gradagem (OLIVEIRA et al., 2013), realizadas antes da implantação do experimento, no ano de 2017.

Ao avaliarem a Ds em sistemas de lavoura e pecuária, Seron et al. (2013) afirmam que mesmo não encontrando diferença significativa entre os tratamentos, há evidências de maiores valores no sistema de lavoura, e justificam este comportamento em função do maior tráfego de máquinas e implementos, quando comparado a pastagem. Resultados semelhantes foram obtidos por Loss et al. (2014) e Rosset et al. (2014), avaliando atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de usos, onde verificaram, em algumas camadas do solo, menores valores de Ds nos sistemas integrados em relação aos monocultivos, confirmando o benefício do uso de sistemas integrados.

Em contrapartida, os resultados apresentados não condizem com a teoria citada por Kunz et al. (2013), o qual afirma que a pressão exercida pelos cascos dos animais é maior que a pressão exercida por máquinas agrícolas, uma vez que seu peso é distribuído em uma área maior, reduzindo riscos inerentes a compactação e por consequência a Ds.

Com a adoção de manejo adequado e o sistema plantio direto consolidado, o solo poderá se reestruturar com o passar o tempo e, pelo acúmulo de material vegetal remanescente, aumento dos teores de matéria orgânica e atividade microbiana (ANGHINONI, 2007), poderá promover o aumento no volume de macroporos e redução da densidade gradativamente (SILVA et al., 2012b; OLIVEIRA et al., 2018).

As propriedades físicas do solo são interdependentes, a modificação de uma promove alterações em todas as outras, por esta razão é que a Ds é a propriedade física mais estudada e monitorada, especialmente devido à alta relação da Pt e a Ds, ou seja, o aumento da Ds reduz o espaço poroso do solo (STEFANOSKI et al., 2013; SILVA et al., 2016).

A resistência do solo à penetração após o manejo das forrageiras e antecedendo a implantação da cultura do milho no ano de 2018, apresentou significância para o fatorial vs adicional para as camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m, 0,20-0,25 m e 0,25-0,30 m (Tabela 10).

Tabela 10 - Quadrado médio da resistência do solo à penetração (MPa) conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, em diferentes camadas, no ano de 2018

FV	GL	Resistência do solo à penetração (MPa) (2018)			
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
Bloco	3	0,037742	0,167680	0,092173	0,067292
Espécies (E)	1	0,032290 ^{ns}	0,005189 ^{ns}	0,000176 ^{ns}	0,012110 ^{ns}
Erro 1	3	0,028340	0,055021	0,160760	0,080315
Manejos (M)	1	0,126316 ^{ns}	0,164379 ^{ns}	0,020100 ^{ns}	0,021399 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,089835 ^{ns}	0,367975 ^{ns}	0,108112 ^{ns}	0,062791 ^{ns}
Erro 2	6	0,026843	0,072216	0,029478	0,014694
Nitrogênio (N)	1	0,115380 ^{ns}	0,193053 ^{ns}	0,006328 ^{ns}	0,004913 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,001704 ^{ns}	0,109571 ^{ns}	0,003200 ^{ns}	0,008861 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,110626 ^{ns}	0,024503 ^{ns}	0,002433 ^{ns}	0,000218 ^{ns}
E X M X N	1	0,006342 ^{ns}	0,046856 ^{ns}	0,046742 ^{ns}	0,045867 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	1,364483*	1,876711*	1,220313*	0,838890*
Erro 3	12	0,064979	0,096328	0,061360	0,034471
	32				
CV 1 (%)		32	15,62	26,04	18,90
CV 2 (%)		31,14	17,89	11,15	8,08
CV 3 (%)		48,45	20,66	16,09	13,08
		0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40
Bloco	3	0,072850	0,065405	0,051062	0,076322
Espécies (E)	1	0,006370 ^{ns}	0,011438 ^{ns}	0,025116 ^{ns}	0,003666 ^{ns}
Erro 1	3	0,012199	0,038431	0,027483	0,047441
Manejos (M)	1	0,184908 ^{ns}	0,240818 ^{ns}	0,297317 ^{ns}	0,041220 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,130624 ^{ns}	0,079103 ^{ns}	0,028950 ^{ns}	0,029494 ^{ns}
Erro 2	6	0,038810	0,056671	0,036240	0,079046
Nitrogênio (N)	1	0,105628 ^{ns}	0,069658 ^{ns}	0,204240 ^{ns}	0,179176 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,000000 ^{ns}	0,001568 ^{ns}	0,032036 ^{ns}	0,105743 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,037916 ^{ns}	0,017625 ^{ns}	0,004863 ^{ns}	0,024118 ^{ns}
E X M X N	1	0,000005 ^{ns}	0,025651 ^{ns}	0,004524 ^{ns}	0,004406 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,687427*	0,362952*	0,118727 ^{ns}	0,094921 ^{ns}
Erro 3	12	0,056202	0,040059	0,075216	0,080403
CV 1 (%)		7,25	13,24	11,18	14,63
CV 2 (%)		12,93	16,07	12,83	18,88
CV 3 (%)		15,56	13,51	18,49	19,04

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Para o ano de 2019, foi observado diferença significativa para o fatorial vs adicional para a camada de 0-0,05 m. Para as demais camadas, os manejos empregados não promoveram alterações na resistência à penetração (Tabela 11).

Tabela 11 - Quadrado médio da resistência do solo à penetração (MPa) conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, em diferentes camadas, no ano de 2019

FV	GL	Resistência do solo à penetração (MPa) (2019)			
		0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
Bloco	3	0,184283	0,132092	0,178980	0,151171
Espécies (E)	1	0,009012 ^{ns}	0,647949 ^{ns}	0,440978 ^{ns}	0,334562 ^{ns}
Erro 1	3	0,077930	0,184670	0,081284	0,222411
Manejos (M)	1	3,208678*	0,276117 ^{ns}	0,088043 ^{ns}	0,491536 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,028144 ^{ns}	0,067942 ^{ns}	0,969354 ^{ns}	0,705375 ^{ns}
Erro 2	6	0,094044	0,289940	0,079001	0,226790
Nitrogênio (N)	1	0,071159 ^{ns}	0,018697 ^{ns}	0,622031 ^{ns}	0,544968 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,043882 ^{ns}	0,240731 ^{ns}	0,635769 ^{ns}	0,466337 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,008033 ^{ns}	0,031910 ^{ns}	0,027174 ^{ns}	0,005126 ^{ns}
E X M X N	1	0,008945 ^{ns}	0,012621 ^{ns}	0,016905 ^{ns}	0,009113 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,471501*	0,013291 ^{ns}	0,051721 ^{ns}	0,005698 ^{ns}
Erro 3	12	0,097196	0,156757	0,239109	0,243283
	32				
CV 1 (%)		44,04	24,85	15,27	26,73
CV 2 (%)		48,38	31,14	15,05	26,99
CV 3 (%)		49,18	22,90	26,19	27,96
		0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40
Bloco	3	0,069789	0,025483	0,144336	0,245258
Espécies (E)	1	0,295777 ^{ns}	0,374762 ^{ns}	0,657804 ^{ns}	0,432218 ^{ns}
Erro 1	3	0,268553	0,223302	0,328106	0,497700
Manejos (M)	1	0,352695 ^{ns}	0,027671 ^{ns}	0,047509 ^{ns}	0,072175 ^{ns}
Espécies X Manejos	1	0,748017 ^{ns}	0,012920 ^{ns}	0,199080 ^{ns}	0,276025 ^{ns}
Erro 2	6	0,239370	0,236377	0,287909	0,383468
Nitrogênio (N)	1	0,488196 ^{ns}	0,321602 ^{ns}	0,253828 ^{ns}	0,392055 ^{ns}
Espécies X Nitrogênio	1	0,328759 ^{ns}	0,184528 ^{ns}	0,133515 ^{ns}	0,137944 ^{ns}
Manejos X Nitrogênio	1	0,014007 ^{ns}	0,004005 ^{ns}	0,000613 ^{ns}	0,058397 ^{ns}
E X M X N	1	0,005605 ^{ns}	0,049455 ^{ns}	0,387860 ^{ns}	1,005362 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,020970 ^{ns}	0,094142 ^{ns}	0,046997 ^{ns}	0,030669 ^{ns}
Erro 3	12	0,234652	0,088674	0,125963	0,293770
CV 1 (%)		30,63	30,63	40,34	41,09
CV 2 (%)		28,92	31,52	37,79	44,85
CV 3 (%)		28,63	19,30	25	39,25

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para nitrogênio.

Observou-se que a interação fatorial vs adicional promoveu alterações na resistência do solo à penetração nos primeiros 0,30 m (Tabela 12). De maneira geral, os valores do fatorial foram estatisticamente inferiores em relação à testemunha, sendo que a partir da camada 0,05-0,10 m até 0,25-0,30 m houve diferença apenas para o primeiro ano de condução experimental (Tabela 12). Os resultados foram variados, e essa diferença provavelmente ocorreu em razão

da variabilidade espacial da resistência à penetração, nas áreas onde foram realizados os cortes para fenação e pastejos.

Tabela 12 - Valores médios da testemunha e dos tratamentos provenientes do fatorial na resistência do solo à penetração (Rp), conduzido em sistema de integração lavoura-pecuária, no ano de 2018

Manejo	Rp (MPa)							
	0-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,15 m		0,15-0,20 m	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Testemunha	1,02	0,93	2,08	1,78	2,01	1,77	1,89	1,80
⋮								
<i>M. maximum</i> /Fenação/Sem N	0,36 ⁻	0,93 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,88	1,50 ^{ns}	1,90	1,43 ⁻	1,88
<i>M. maximum</i> /Fenação/Com N	0,61 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,56 ^{ns}	2,12	1,41 ⁻	2,57	1,37 ⁻	2,39
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Sem N	0,27 ⁻	0,18 ⁻	1,16 ⁻	1,62	1,34 ⁻	1,55	1,33 ⁻	1,34
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Com N	0,23 ⁻	0,22 ⁻	1,22 ⁻	1,82	1,44 ⁻	2,01	1,40 ⁻	1,83
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	0,33 ⁻	0,95 ^{ns}	1,11 ⁻	1,63	1,29 ⁻	1,65	1,34 ⁻	1,65
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	0,56 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,61	1,40 ⁻	1,66	1,36 ⁻	1,61
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	0,40 ⁻	0,38 ^{ns}	1,31 ⁻	1,64	1,51 ^{ns}	1,90	1,56 ^{ns}	1,64
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	0,45 ⁻	0,21 ⁻	1,45 ^{ns}	1,41	1,50 ^{ns}	1,89	1,42 ⁻	1,72
Média	0,47	0,60	1,44	1,72	1,49	1,88	1,46	1,76

Manejo	Rp (MPa)							
	0,20-0,25 m		0,25-0,30 m		0,30-0,35 m		0,35-0,40 m	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Testemunha	1,87	1,63	1,74	1,41	1,47	1,33	1,62	1,31
⋮								
<i>M. maximum</i> /Fenação/Sem N	1,43 ^{ns}	1,84	1,35 ^{ns}	1,58	1,44	1,42	1,57	1,42
<i>M. maximum</i> /Fenação/Com N	1,39 ^{ns}	2,28	1,37 ^{ns}	1,88	1,26	1,52	1,23	1,33
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Sem N	1,53 ^{ns}	1,31	1,53 ^{ns}	1,43	1,74	1,44	1,63	1,26
<i>M. maximum</i> /Pastejo/Com N	1,34 ⁻	1,78	1,34 ^{ns}	1,84	1,47	1,96	1,44	1,55
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Sem N	1,33 ⁻	1,58	1,36 ^{ns}	1,40	1,40	1,20	1,47	1,15
<i>U. brizantha</i> /Fenação/Com N	1,29 ⁻	1,55	1,24 ⁻	1,55	1,30	1,48	1,41	1,51
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Sem N	1,68 ^{ns}	1,60	1,62 ^{ns}	1,48	1,53	1,35	1,45	1,33
<i>U. brizantha</i> /Pastejo/Com N	1,50 ^{ns}	1,72	1,52 ^{ns}	1,43	1,44	1,17	1,45	1,15
Média	1,48	1,70	1,45	1,56	1,47	1,43	1,47	1,33

⁺: significativo e superior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ⁻ significativo e inferior a testemunha pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Para Maluf e Campos (2012), a principal causa de degradação do solo é a sua compactação, resultado do processo de aumento da Ds e Rp. Este cenário é frequentemente observado em áreas onde há utilização de máquinas e implementos agrícolas pesados e em áreas de pisoteio animal (SOUZA et al., 2012) especialmente em períodos úmidos (OLIVEIRA et al., 2017) e em solos argilosos (KUNZ et al., 2013).

Embora sejam adotados valores para nível crítico de RP, vários são os fatores que podem influenciar nestes resultados, especialmente a umidade, no momento dos manejos das forrageiras e sementeira, além da Ds (MATTEI et al., 2020). Da mesma forma, Lima et al.,

(2013) destacam que o aumento da D_s , irá resultar em maior R_p , podendo restringir o desenvolvimento e rendimento das culturas.

Os valores da umidade gravimétrica do solo no momento da avaliação, foram de 20% e 22%, em até 40 cm de profundidade, para o ano de 2018 e de 2019, respectivamente e os valores de R_p variaram de 0,23 MPa a 2,01 MPa para o primeiro ano e de 0,21 MPa a 2,57 MPa para o segundo. Para Petean et al. (2010) e Andreolla et al. (2015b), citam valores acima de 2,5 MPa são limitantes para a resistência do solo à penetração, enquanto Moraes et al. (2014) relatam valores acima de 3,5 MPa como limitantes para solos argilosos sob SPD no estado do Paraná.

Dentre os fatores que atuaram para a obtenção destes resultados, destaca-se a condição de umidade adequada que o solo se encontrava no momento da entrada dos animais na área para o pastejo e também das máquinas para os cortes para fenação. A degradação física do solo em sistemas integrados apresenta estreita relação negativa com taxa de lotação animal e com a umidade do solo no momento dos manejos (RIBEIRO; SOUZA, 2018).

3.4 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada em cobertura após os manejos das forrageiras aumentou a quantidade de macroporos na camada de 0-0,05 m.

Os valores de D_s estão acima do limite considerado crítico para o desenvolvimento das plantas, porém, com tendência à redução.

A adoção do sistema integrado, independente da espécie forrageira utilizada e manejo adotado, seja fenação ou pastejo, não compromete a qualidade física do solo, sendo assim, uma ótima alternativa para a diversificação da produção na propriedade.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBUS, J. V. REICHERT, J. M; GUBIANI, P. I.; CARVALHO, P. C. F. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. **Geoderma**, v. 330, p. 232-243, 2018.
- ANDREOLLA, V. R. M.; BONINI, A. K. DEISS, L.; SANDINI, I. E. Soil physical attributes in integrated bean and sheep system under nitrogen levels. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 922-930, 2014.
- ANDREOLLA, V. R. M.; BONA FILHO, A.; MORAES, A.; OLIVEIRA, E. Pastejo e adubação nitrogenada sobre atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 6, p. 1019-1031, 2015a.
- ANDREOLLA, V. R. M; MORAES, A.; BONA FILHO, A.; SANDINI, I. E.; BONINI, A. K.; DEISS, L. Pastejo e nitrogênio no azevém sobre a qualidade física do solo e produtividade do feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 11-26, 2015b.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 873-928.
- ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N; MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1473-1452, 2015.
- ASAI, M.; MORAINÉ, M.; RYSCHAWY, J.; WIT, J. de; HOSHIDE, A. K.; MARTIN, G. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. **Land Use Policy**, v. 73, p. 184-194, 2018.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; MAFRA, Á. L.; PICCOLLA, C. D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1357-1363, 2011.
- BATISTA, I.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROWS, J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3377-3388, 2013.
- BERTOLINI, D.; BRAIDA, J. A.; CASSOL, L. C.; MIGLIORINI, F.; SILVA, M. R.; FERRAZZA, J. M. Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 535-543, 2013.
- BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; HEINRICHS, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 09, p. 1695-1698, 2016.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STOCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; SOARES, A. B.; ASSMANN, A. L. Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 58, n. 4, p. 438-443, 2011.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução dos atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbono restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of the Total Environment**, v. 621, n. 1, p. 1559-1567, 2018.

FLÁVIO NETO, J., SEVERIANO, E.C., COSTA, K.A.P., GUIMARÃES JÚNNYOR, W.S., GONÇALVES, W.G., ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375–383, 2015.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDI, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D.P.M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

FRANCHINI, J. C., JUNIOR BALBINOT, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, 2015.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em latossolo argiloso com semeadura direta e escarificada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1699-1708, 2013.

LIMA, A. M. I.; ARAÚJO, C. M. de.; BARBOSA, S. R. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro norte, estado do Piauí. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 117-124, 2013.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

MALUF, H. J. G. M.; CAMPOS, D. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração avaliada ao longo de um cultivo de milho. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 1, p. 67-72, 2012.

MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; RYSCHAWY, J.; MAGNE, M. A.; ASAI, M.; SARTHOU, J. P.; DURU, M.; THEROND, O. Crop-livestock integration beyond the farm level: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 53, p. 1-21, 2016.

MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; EGEWARTH, J. F.; REGO, C. A. R. M.; PIANO, J. T.; HERRERA, J. L. Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2018.

MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; REGO, C. A. R. M.; VENGEN, A. P.; HERRERA, J. L. Implications of integrated crop-livestock system under physical soil attributes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47638-47651, 2020.

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho- Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 214-223, 2012.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4–9, 2014a.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014b.

MORAINÉ, M.; MELAC, P.; RYSCHAWY, J.; DURU, M.; THEROND, O. A Participatory method for the design and integrated assessment of crop-livestock systems in farmers groups. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 340-351, 2017.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JÚNIOR, E.; PETEAM, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. F. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 389-400, 2012.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETI, K. V. FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 604-612, 2013.

OLIVEIRA, D. G.; RELS, E. F.; MEDEIROS, J. C.; COUTO, R. F.; HOLTZ, V.; MADARI, B. E. Correlação espacial e linear de atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 69-77, 2017.

PETEAM, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1515-1526, 2010.

QUATRIN, M. P.; OLIVO, C. J.; AGNOLIN, C. A.; MACHADO, P. R.; NUNES, J. S.; DA ROSA CORREA; M., RODRIGUES, P. F.; BRATZ, V. F.; SIMONETTI, G. D. Efeito da adubação nitrogenada na produção de forragem, teor de proteína bruta e taxa de lotação em pastagens de azevém. **Boletim de Indústria Animal**, v. 72, n. 1, p. 21-26, 2015.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1795-2215, 2008.

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 2, p. 185-196, 2018.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 324-344, 2005.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 2014.

RYSCHAWY, J.; MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; DURU, M.; THEROND, O. Designing crop-livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 5-20, 2017.

SALTON, J. C.; MERCANTE, FABIO M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANTINI, J. M. K.; PERIN, A.; COAGUILA, D. N.; VALDERRAMA, M.; DUPAS E.; DOS SANTOS, C. G.; SILVA, V. M.; BUZETTI, S. Adubação nitrogenada na implantação de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés no cerrado: Características biométricas e bromatológicas **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 2, p. 129-139, 2016.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; DAVID, R. D.; DONATO, G.; COELHO, L. L.; AIRES, N. P.; ARAMBURU, B. B. Soil tillage systems and seeding on grain yield of soybean in lowland area. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 492-498, 2016.

SERON, C. C.; ARAUJO, M. A.; LAVANHOLI, R.; MIOTO, L. S.; BATISTA, M. A. Densidade e porosidade do solo em área de implantação do sistema integração lavoura-pecuária. **Anais... do VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar Editora CESUMAR Maringá – Paraná – Brasil**, 2013.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; BUKHARI, M. A.; TUNG, S. A.; HAFEEZ, A.; SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 10056-10067, 2017.

SILVA, C. A. T.; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de Latossolos e práticas de manejo agrícola para a conservação do solo. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 153-164, 2012a.

SILVA, V. L.; DIECKOW, J.; MELLEK, J. E.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VAZZANI, F. M. Melhoria da estrutura de um latossolo por sistemas de culturas em plantio direto nos Campos Gerais do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 983-992, 2012b.

SILVA, J. F. G.; SEVERIANO, E. C.; COSTA K. A. P.; BENITES, V. M.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; BENTO, J. C. Chemical and physiscal-hydric characterisation of a red Latosol after five years of management during the summer between-crop season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1576-1586, 2014a.

SILVA, R. L.; MATIAS, S. S. R.; LOBATO, M. G. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região sul do Piauí. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 160-168, 2014.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração LavouraPecuária-Floresta (iLPF), homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, p. 96-104, 2016.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; PELLIN, D. M. P.; BERGAMIN, A. C.; GELAIN, E.; ROSA, Y. B. C. J. Morphology and stability of aggregates of an Oxisol according to tillage system and gypsum application. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 859-866, 2012.

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim Marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 51-64, 2019.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573p.

VALANI, G. P.; MARTÍNI, A. F.; SILVA, L. F. S.; BOVI, R. C.; COOPER, M. Soil quality assessments in integrated crop–livestock–forest systems: A review. **Soil Use Management**, V. 10, p. 1-15, 2020.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C.; JUNIOR, A.; DURIGON, L. Effects on soil and crop properties os forms of sowing, deferral intervals and fertilisation of the annual winter forage in a crop-livestock integration system. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 5, p. 15-25, 2016.

4 CAPÍTULO 3: DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DOS RESÍDUOS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS, MANEJADAS SOB INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

RESUMO

Conhecer a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais, bem como a liberação de nutrientes em sistemas de produção agropecuária é de extrema importância para alcançar a sustentabilidade. O objetivo do presente estudo foi avaliar a decomposição e liberação de macronutrientes de forrageiras tropicais, após os manejos de pastejo e fenação em sistema de consórcio de milho com pastagens de gramíneas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com duas repetições, sendo as parcelas constituídas por duas espécies forrageiras (*Urochloa brizantha* cv. Braúna e *Megathyrus maximum* cv. Áries), subparcelas, pelos manejos (pastejo e fenação) e as sub-subparcelas, pelas épocas de avaliação ao longo do cultivo do milho silagem em sucessão (0, 30, 50, 70, 90 e 100 dias após a semeadura). Foram determinados as quantidades residuais de matéria seca (MS), além dos teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na MS residual. A espécie *U. brizantha* e o manejo de fenação, deixam menores quantidades de resíduos e reciclam menores quantidades de nutrientes para as culturas em sucessão. As maiores produtividades de MS e acúmulo de nutrientes foram obtidos quando as forrageiras foram pastejadas, garantindo quantidade acima de 4.000 kg ha⁻¹ de MS para continuidade do sistema plantio direto (SPD). Por outro lado, a fenação deve ser realizada com muito critério, pois reduz acentuadamente a deposição de matéria seca no solo e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes. O consórcio da cultura do milho com forrageiras é uma alternativa para elevar a quantidade de resíduos vegetais e ciclagem de nutrientes. O emprego das forrageiras, *U. brizantha* e *M. maximum*, em sistemas de integração lavoura-pecuária são alternativas viáveis para a redução de perdas no sistema, aumentando a recuperação dos fertilizantes aplicados e resultando em sistemas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Sistemas integrados. Resíduos culturais. Ciclagem de nutrientes. Tempo de meia-vida.

DECOMPOSITION AND RELEASE OF NUTRIENTS FROM TROPICAL FORAGE RESIDUES, MANAGED UNDER CROP-LIVESTOCK INTEGRATION

ABSTRACT

Knowing the dynamics of decomposition of plant residues, as well as the release of nutrients in agricultural production systems is extremely important to achieve sustainability. The aim of this study was to evaluate the decomposition and release of tropical forage macronutrient after the managements grazing and haying. The experimental was randomized blocks, in a split-split plot design, with two replications, with plots consisting of two forage species (*Urochloa brizantha* cv. Braúna and *Megathyrsus maximum* cv. Aries), subplots, by management (grazing and haying) and the sub-subplots, by the evaluation times along the cultivation of silage corn in succession (0, 30, 50, 70, 90 and 100 days after sowing). Residual amounts of dry matter, carbon, nitrogen, phosphorus and potassium were determined. The corn crop consortium with forage is an alternative to increase the amount of straw and nutrient cycling. Higher yields of dry matter and nutrient accumulation was obtained when forages were grazed, guaranteeing an amount above 4,000 kg ha⁻¹ of dry matter for continuity of the no-tillage system. On the other hand, haymaking must be performed with great care because it markedly reduces the deposition of soil mulching and therefore nutrient cycling. The use of *U. brizantha* and *M. maximum* for animal feed, in integrated systems, is a viable alternative for the recycling of nutrients.

Key words: Cultural residues. Nutrient cycling. Half-life time.

4.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs) têm sido utilizados de forma expressiva devido os inúmeros benefícios proporcionados, incluindo possibilidades de ganhos econômicos e ambientais. É uma importante estratégia para o incremento de resíduos vegetais, em quantidade e qualidade, suficientes para o sistema plantio direto (SPD) (DUBEUX JR et al., 2014).

O aporte constante de resíduos vegetais na superfície do solo é uma premissa básica do SPD, entretanto, quando as culturas de interesse comercial são inseridas em monocultivo, não produzem palhada em quantidade suficiente para dar seguimento de forma eficiente a este sistema (MATEUS et al., 2016). Como alternativa, surgem os sistemas consorciados, os quais consistem no cultivo de espécies graníferas com forrageiras (SANTOS et al., 2014), mantendo ou aumentando a produtividade de grãos e, de forma síncrona, tem-se o aumento quantitativo de resíduos vegetais depositados em superfície (ROSSI et al., 2013).

Entretanto, a introdução de mais de uma cultura na área de produção ou o emprego de consórcios, institui alterações na dinâmica de utilização de água, luz e nutrientes, e deve ser levada em consideração para obtenção de resultados produtivos satisfatórios (SORATTO et al., 2012). É imprescindível que a espécie vegetal utilizada apresente características qualitativas satisfatórias, como elevada capacidade produtiva e maior relação carbono/nitrogênio (C/N), de forma a permanecer e manter o solo coberto por mais tempo (COSTA et al., 2015; COSTA et al., 2016).

As características destes resíduos vegetais associadas às condições edafoclimáticas, como precipitação, temperatura, quantidade e qualidade de cada resíduo, tipo de solo, fertilidade, manejo, entre outros fatores, alteram a velocidade de decomposição, refletindo sobre a disponibilidade de nutrientes ao solo (HENTZ et al., 2014; MARCELO et al., 2012; REDIN et al., 2014).

Estudos voltados ao acúmulo de nutrientes pelas plantas forrageiras em sistemas integrados, bem como a taxa de decomposição, são de grande importância, visto que os manejos empregados podem promover dessincronização entre a liberação e a demanda de nutrientes necessários para a cultura sucessora (COSTA et al., 2016).

Gramíneas do gênero *Urochloa* (GUARNIERI et al., 2019; SILVA et al., 2019) e *Megathyrsus* (DIAS et al., 2020), destacam-se como as mais utilizadas nos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP). Entretanto, ainda são escassas as informações acerca do acúmulo e liberação de nutrientes dessas espécies em sistemas consorciados.

Com base na hipótese de que a decomposição e liberação de nutrientes das forrageiras são influenciadas pelos manejos e pelas espécies, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a decomposição e liberação de macronutrientes, além da contribuição econômica em termos de diminuição de custos com fertilizantes aplicados em manejos subsequentes dos resíduos vegetais de forrageiras tropicais, após os manejos de fenação e pastejo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.1 do Capítulo 1.

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com duas repetições. Nas parcelas, foram alocadas as duas espécies forrageiras: *Urochloa brizantha* cv. Braúna e *Megathyrsus maximum* cv. Áries; as subparcelas, constituídas pelos manejos das forrageiras, pastejo ou fenação e as sub-subparcelas, foram constituídas pelas épocas de coleta dos *litter bags* ao longo do cultivo do milho silagem em sucessão aos 0, 30, 50, 70, 90 e 100 dias após semeadura (DAS).

4.2.3 Implantação e manejo do consórcio milho com forrageiras

As informações sobre localização, o clima e as características do solo da área experimental, estão apresentadas no item 2.2.3 do Capítulo 1.

4.2.4 Manejos das forrageiras

Após o corte do milho para silagem, as forrageiras receberam a primeira aplicação de N em cobertura, 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Após essa fase, a área permaneceu vedada por um período de 30 a 40 dias, para iniciarem os manejos ($\pm$ 0,50 m de altura).

Os manejos adotados foram pastejo e fenação, com critério baseado na altura do dossel das plantas, em torno de 50 cm (JOCHIMS et al., 2018). Os manejos, tanto pastejo quanto a

fenação, iniciaram de forma simultânea e o intervalo entre eles, correspondeu ao período de tempo necessário para o crescimento das forrageiras.

Para os pastejos, foram utilizados vinte animais da raça holandesa em fase de lactação, com peso médio de 650 kg. Os pastejos eram realizados durante duas horas diárias, no período matutino, até que a resteva atingisse cerca de 15 cm (JOCHIMS et al., 2018) de forma que não ocorresse danos no meristema apical das plantas.

Os cortes para fenação foram realizados de forma mecanizada, a uma altura de 15-20 cm (JOCHIMS et al., 2018), utilizando segadeira acoplada no trator. Posteriormente, o material passou pelo processo de desidratação e enfardado.

Após os manejos, a área permanecia vedada por um período de tempo, o suficiente para garantir o desenvolvimento das forrageiras, após o qual foi realizado os próximos manejos à semelhança do primeiro. Em 2018 os manejos foram iniciados aos 50, 91 e 158 dias após a colheita do milho silagem (DAC) e em 2019, aos 57, 117 e 189 DAC. Para ambos os anos, foram realizados três pastejos e três cortes para fenação.

Logo após cada manejo e recolha dos fardos de feno, as forrageiras receberam nitrogênio (N) em cobertura, para tanto, foram utilizados 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, totalizando 400 kg ha⁻¹ de N aplicados nas forrageiras.

4.2.5 Avaliações realizadas

Previamente à semeadura do milho, em torno de 40 dias após o último manejo, determinou-se a produtividade de matéria seca (MS) das forrageiras, estimada por meio de amostragem com um quadrado metálico de área conhecida (0,25 m²). A avaliação de decomposição e liberação de nutrientes da palhada foi realizada pelo método do *litter bag* (KLIEMANN et al., 2006) com dimensão de 0,20 x 0,30 m, sendo colocadas na superfície, sobre a palhada remanescente. Para preenchimento dos *litter bags*, o material passou por secagem em estufa de circulação forçada a 65°C, posteriormente, acondicionou-se 30 g desse material em cada bolsa, sem fragmentação do material.

Em cada tratamento, foram distribuídos 10 *litter bags* e realizadas cinco coletas, duas bolsas por coleta, aos 0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS do milho. Após recolhidas as bolsas, o material vegetal foi limpo em peneira, para eliminação do solo aderido e levado à estufa (65°C por 48 h), para posterior pesagem e trituração em moinho tipo Willey.

Foram determinados os teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) do material vegetal contido nos *litter bags*. O C foi obtido a partir da determinação da

matéria orgânica em mufla, conforme descrito por Silva e Queiroz (2006). Para determinação do N, P e K, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica. Nos extratos, a quantidade de N foi determinada pela destilação em sistema semi-micro Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995), o P foi determinado por espectrofotometria UV-VIS de acordo com Braga e Defelipo (1974), enquanto que, o K foi determinado por fotometria de chama (MALAVOLTA et al., 1997).

A partir dos resultados obtidos, foram determinadas as taxas de decomposição da palhada e de liberação de nutrientes da matéria seca remanescente, utilizando o modelo matemático exponencial negativo simples, $X = X_0 \cdot e^{-kt}$ (THOMAS; ASAKAWA, 1993). Onde X é a quantidade de matéria seca ou nutrientes remanescentes; t é um período de tempo em dias; X_0 refere-se à quantidade de MS no início da decomposição e; k é a constante de decomposição. A partir do valor de k, foi calculado o tempo de meia-vida ($T^{1/2} = 0,693/k$) (PAUL; CLARK, 1989) que representa o período de tempo necessário para que 50% dos resíduos se decomponham ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada.

4.2.6 Análise estatística

Com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o Teste F ($p < 0,05$). Havendo significância para as espécies forrageiras, manejos, tempo ou a interação desses fatores, realizou-se a escolha de um modelo matemático.

A escolha do tipo de modelo que melhor se ajustou a cada conjunto de dados foi realizada com base na significância dos parâmetros da equação e no coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o grau de associação entre os valores observados e o modelo ajustado. As equações foram obtidas por meio do Software SigmaPlot® 12.0.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores espécies (*U. brizantha* e *M. maximum*) e manejos (fenação e pastejo), foi significativa para matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N). A interação entre os fatores manejos e tempo de decomposição (0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS), foi significativa para todas as variáveis avaliadas: MS, C, N, fósforo (P) e potássio (K), para o ano de 2018/2019 (Tabela 13).

Tabela 13 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies forrageiras e dos manejos ao longo do tempo na safra 2018/2019

FV	GL	MS	C	N
Bloco	1	894991,4692	157344,1428	0,9362
Espécies	1	37316774,3594*	9065927,7270*	10119,2373 ^{ns}
Erro 1	1	116499,3873	17384,3895	298,0740
Manejos	1	330956700,8510*	92187110,7456*	88951,7680*
Espécies X Manejos	1	35794837,5000*	8853547,4582*	6278,8115*
Erro 2	1	434986,8376	187567,1204	175,2842
Tempo	5	22461113,0494*	6640365,4514*	11241,7845*
Espécies X Tempo	5	1258198,0479 ^{ns}	349845,0955 ^{ns}	483,2897 ^{ns}
Manejos X Tempo	5	5608900,1454*	1528818,8493*	2595,4747*
Espécies X Manejos X Tempo	5	1332424,1944 ^{ns}	375414,5443 ^{ns}	358,1840 ^{ns}
Erro 3	69	629676,4764	177013,7158	245,7687
CV 1 (%)		9,52	7,29	26,64
CV 2 (%)		18,40	23,95	20,43
CV 3 (%)		22,14	23,26	24,19
FV	GL	P	K	
Bloco	1	0,0925	50,4455	
Espécies	5	3,2856 ^{ns}	40,4171 ^{ns}	
Erro 1	5	0,0975	0,4174	
Manejos	1	476,5068*	18759,7621*	
Espécies X Manejos	5	7,5713 ^{ns}	59,7715 ^{ns}	
Erro 2	5	1,6695	89,5714	
Tempo	5	105,6156*	14692,9371*	
Espécies X Tempo	25	0,6565 ^{ns}	16,6504 ^{ns}	
Manejos X Tempo	5	6,0695*	2180,9534*	
Espécies X Manejos X Tempo	25	2,0699 ^{ns}	104,6558 ^{ns}	
Erro 3	69	1,1369	43,9160	
CV 1 (%)		5,97	1,65	
CV 2 (%)		24,71	24,20	
CV 3 (%)		20,39	16,95	

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para tempo.

Em relação ao ano de 2019, os manejos promoveram alterações na decomposição e nos teores de MS, C, N, P e K ao longo do tempo (Tabela 14).

Tabela 14 - Quadrado médio da matéria seca (MS), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) remanescentes dos resíduos das espécies forrageiras e dos manejos ao longo do tempo na safra 2019/2020

FV	GL	MS	C	N
Bloco	1	232038,1509	1764,9065	27,2640
Espécies	1	692751,9594 ^{ns}	60701,0358 ^{ns}	26,5230 ^{ns}
Erro 1	1	4184,2684	154064,3504	11,2203
Manejos	1	41986902,6135*	22755,0417 ^{ns}	7202,0026*
Espécies X Manejos	1	243745,5004 ^{ns}	878782,5292 ^{ns}	156,1620 ^{ns}
Erro 2	1	136431,0223	209857,0122	2,2143
Tempo	5	9487486,7527*	2455823,7386*	5562,1285*
Espécies X Tempo	5	49777,6635 ^{ns}	67275,2580 ^{ns}	18,6149 ^{ns}
Manejos X Tempo	5	6092221,6280*	177227,8218*	306,0669*
Espécies X Manejos X Tempo	5	86496,1160 ^{ns}	112918,7023 ^{ns}	74,4899 ^{ns}
Erro 3	69	220084,1532	59785,5184	90,6678
CV 1 (%)		2,75	32,48	8,16
CV 2 (%)		15,72	37,90	3,62
CV 3 (%)		19,96	20,23	23,19
FV	GL	P	K	
Bloco	1	0,1388	69,7345	
Espécies	5	0,0969 ^{ns}	1,2150 ^{ns}	
Erro 1	5	0,5658	4,1834	
Manejos	1	49,4071 ^{ns}	2498,3882*	
Espécies X Manejos	5	0,6617 ^{ns}	43,6860 ^{ns}	
Erro 2	5	0,7975	0,4845	
Tempo	5	39,1959*	3634,3333*	
Espécies X Tempo	25	0,2243 ^{ns}	4,6487 ^{ns}	
Manejos X Tempo	5	5,1309*	43,9095*	
Espécies X Manejos X Tempo	25	0,1269 ^{ns}	4,1956 ^{ns}	
Erro 3	69	0,3827	11,7824	
CV 1 (%)		27,42	7,86	
CV 2 (%)		32,56	2,67	
CV 3 (%)		22,55	13,19	

^{ns}, *; não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CV 1: Coeficiente de variação para as espécies; CV 2: Coeficiente de variação para os manejos; CV 3: Coeficiente de variação para tempo.

Quando as espécies foram submetidas aos manejos de pastejo e fenação, o acúmulo de MS bem como o C e o N remanescentes apresentaram comportamento semelhantes no ano de 2018 (Tabela 15).

As quantidades de MS, C e N foram superiores quando as espécies foram pastejadas em relação às fenadas (Tabela 15). Quando o manejo utilizado foi o pastejo, a quantidade de MS, C e N da espécie *M. maximum* foi superior em relação a *U. brizantha*, no entanto, quando submetidas à fenação, as espécies não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 15).

Tabela 15 - Quantidade de matéria seca (MS), carbono (C) e nitrogênio (N) remanescentes dos resíduos culturais das espécies forrageiras submetidas aos manejos de pastejo e fenação, no ano de 2018

	MS remanescente (kg ha ⁻¹)		
	Pastejo	Fenação	Média
<i>M. maximum</i>	6.675,62 Aa	1,740,90 Ba	4.208,26
<i>U. brizantha</i>	4.207,42 Ab	1.715,20 Ba	2.961,31
Média	5.441,52	1.728,05	
	C remanescente (kg ha ⁻¹)		
	Pastejo	Fenação	Média
<i>M. maximum</i>	3.399,58 Aa	825,09 Ba	2.112,34
<i>U. brizantha</i>	2.177,60 Ab	832,33 Ba	1.504,96
Média	2.788,59	828,71	
	N remanescente (kg ha ⁻¹)		
	Pastejo	Fenação	Média
<i>M. maximum</i>	113,6 Aa	36,55 Ba	75,08
<i>U. brizantha</i>	76,90 Ab	32,20 Ba	54,55
Média	95,25	34,38	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A produtividade média de MS acumulada ao findar os ciclos de pastejo e fenação para as espécies *M. maximum* e *U. brizantha*, foram de 4.208,26 kg ha⁻¹ e 2.961,31 kg ha⁻¹, respectivamente, para o ano de 2018 (Tabela 15). A maior produtividade de forragem da *M. maximum* pode estar associada a preferência alimentar dos animais utilizados por *U. brizantha* e características estruturais da planta, as quais estão associadas à facilidade de colheita pelos animais e valor nutritivo (CASTAGNARA et al., 2011).

Embora o intervalo entre o último manejo e a dessecação das plantas tenha sido em torno de 40 dias, é possível verificar que a fenação deixou menor quantidade de MS (1.728,05 kg ha⁻¹) e, portanto, deve ser praticada com critério. Por outro lado, o pastejo resultou em um aporte elevado de MS (5.441,52 kg ha⁻¹), indicando que poderia ter sido intensificado (Tabela 15). Estas espécies forrageiras vêm despertando interesse de muitos agricultores e pesquisadores, devido ao grande potencial de manutenção de palhada sobre o solo, por apresentar relação C:N e lignina elevada, retardando a decomposição e possibilitando a utilização em regiões quentes (HENTZ et al., 2014).

Além disso, é possível verificar o potencial desse sistema de produção utilizando forrageiras tropicais, pois além de contribuir com o incremento de palhada sobre o solo, preservando-o contra possíveis riscos de erosão, incremento de matéria orgânica e, conseqüentemente, favorecendo a qualidade física e química do solo (MATTEI et al., 2018), garante o fornecimento de alimentos para os animais no período de entressafra.

Segundo Carvalho et al. (2018), áreas sem pastejos, destinadas exclusivamente para produção de palhada para o SPD em sucessão, não produzem mais que áreas pastejadas, e que a introdução do componente animal no sistema, beneficia a ciclagem de nutrientes.

A quantidade de N acumulada pelas espécies quando submetidas ao pastejo foi superior em relação a fenação, sendo que a *M. maximum* quando pastejada, foi de aproximadamente 32% superior em relação à *U. brizantha*. O maior acúmulo de N nas forrageiras quando pastejadas, pode ser atribuído a maior produtividade de MS, além da maior produção de folhas, em relação as forrageiras fenadas, concentrando maior quantidade de N. Outro fator que pode ter contribuído, foi o retorno dos nutrientes no sistema a partir das excretas dos animais (fezes e urina), aumentando a reciclagem de nutrientes (ASSMAN et al., 2017).

Com relação à decomposição e liberação de nutrientes das espécies forrageiras, verificou-se que a produtividade de MS, C, N, P e K remanescentes foram influenciados pelos manejos de pastejo e fenação, apresentando redução exponencial ao longo do tempo (0, 30, 50, 70, 90 e 100 DAS).

Para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, o acúmulo de nutrientes apresentou comportamento semelhante à produtividade de MS, ou seja, quando as forrageiras foram pastejadas, a quantidade de MS foi maior do que quando fenadas (Figura 3A e 3C), consequentemente, a quantidade de nutrientes presentes neste material residual também foi maior. Isso porquê, quando ocorre a fenação, praticamente todo o material vegetal produzido pelas forrageiras, bem como a quantidade de nutrientes acumulados, são exportados.

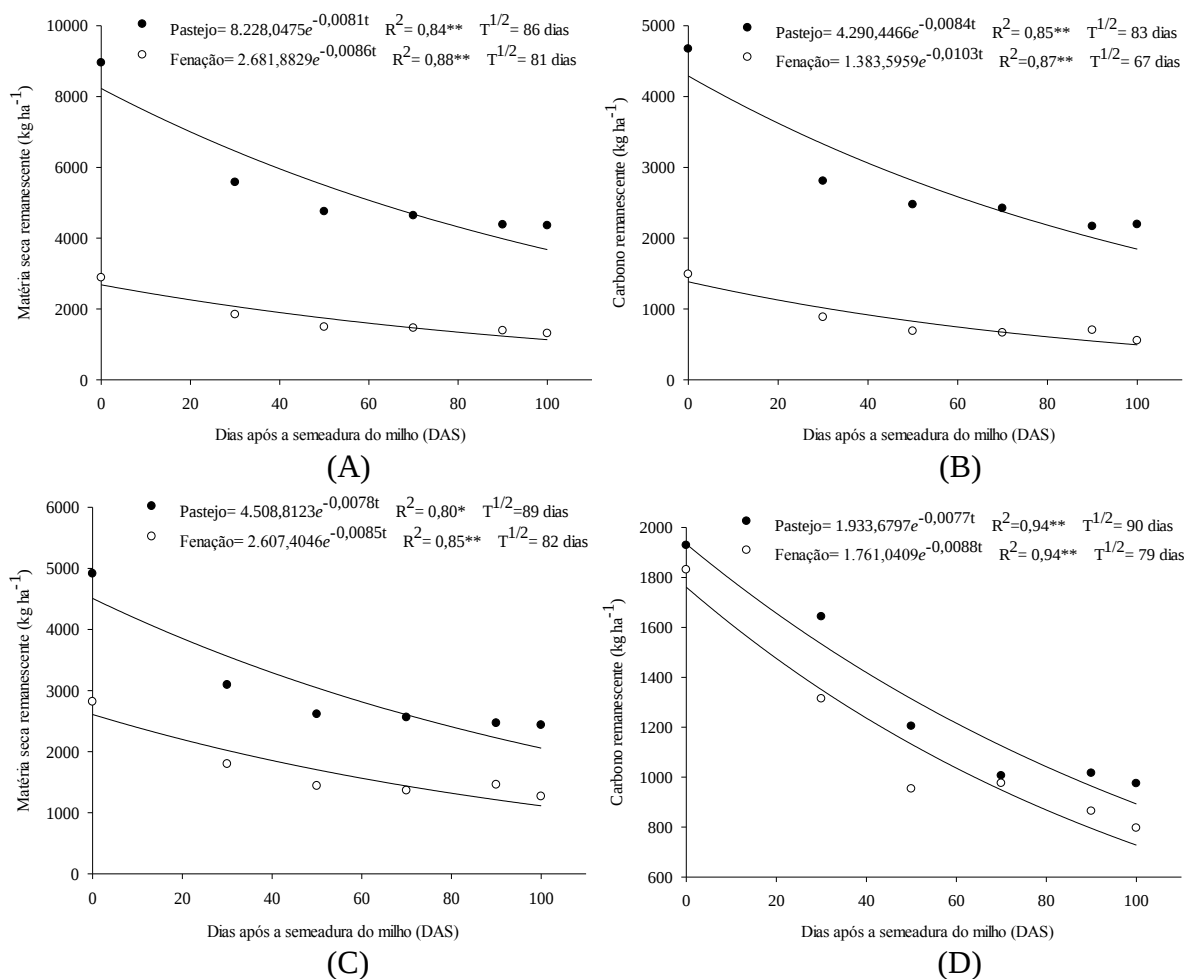


Figura 3 - Matéria seca remanescente (A) (C) e carbono remanescente (B) (D) dos resíduos vegetais submetidos aos manejos de pastejo e fenação ao longo do tempo, na safra 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

Aos 100 DAS, tanto para a safra 2018/2019 como para a safra 2019/2020, a quantidade de resíduos das forrageiras que permaneceram sobre o solo em relação a quantidade inicial, foram semelhantes. Para o primeiro ano, registrou-se permanência de 44% e 42% da quantidade inicial de matéria seca, onde os manejos empregados foram pastejo e fenação (Figura 3A); e 46% e 43% para o segundo ano, respectivamente (Figura 3C).

O tempo de permanência da MS sobre solo é determinada pela sua velocidade de decomposição. A rápida decomposição no período inicial pode estar associada a quantidade elevada de açúcares, aminoácidos e proteínas, componentes de baixo peso molecular, e com o passar do tempo, devido ao acúmulo de componentes recalcitrantes, como lignina, taninos, celulose e relação C:N, a velocidade de decomposição é reduzida (BARBOSA et al., 2016; LUPWAYI et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2019).

No início do período de decomposição (0 DAS) a relação C:N média foi de 26 e 28, para o primeiro e segundo ano, respectivamente. De acordo com Truong e Marschner (2018),

valores de relação C:N entre 12 e 25 contribuem com a mineralização e valores acima de 50 colaboram com a imobilização dos nutrientes no solo, dessa forma, o ideal é que os materiais apresentem valores entre 25 e 30, favorecendo o equilíbrio entre estes processos.

Em função das altas temperaturas e precipitações durante o período de avaliação (Figura 1 e 2), o comportamento da decomposição das espécies forrageiras em função dos manejos empregados, seja pastejo ou fenação, durante os dois anos agrícolas, demonstraram que essa prática é viável em sistemas produtivos, pois demonstram produção de palhada em quantidades satisfatórias à adoção, manutenção ou continuidade do SPD.

O C apresentou comportamento semelhante ao da MS, ou seja, à medida que o material vegetal foi sendo decomposto, o C foi sendo liberado, apresentando um decréscimo ao longo do tempo (Figura 3A e 3B). Isso deve-se ao fato de o C lábil ser utilizado pelos microrganismos como fonte de energia (PEDROSA et al., 2014). Essa decomposição rápida no início é conhecido como efeito “*priming*”, no qual devido adição de resíduos orgânicos mais lábeis, favorece a atividade microbiana e aceleração da decomposição da MOS, com influência em posterior estabilização do C no solo em frações mais recalcitrantes (KUZYAKOV et al. (2000). Comportamento este observado por Rosset et al. (2019) em área de integração milho+braquiária também na região oeste do Paraná.

Para ambas as safras, o N foi o nutriente mais extraído pelas forrageiras e, portanto, com maior acúmulo na MS remanescente, necessitando em torno de 70 (Figura 4A) e 60 dias (Figura 4B) para que metade da quantidade do nutriente contido nos resíduos seja liberada e retorne ao solo.

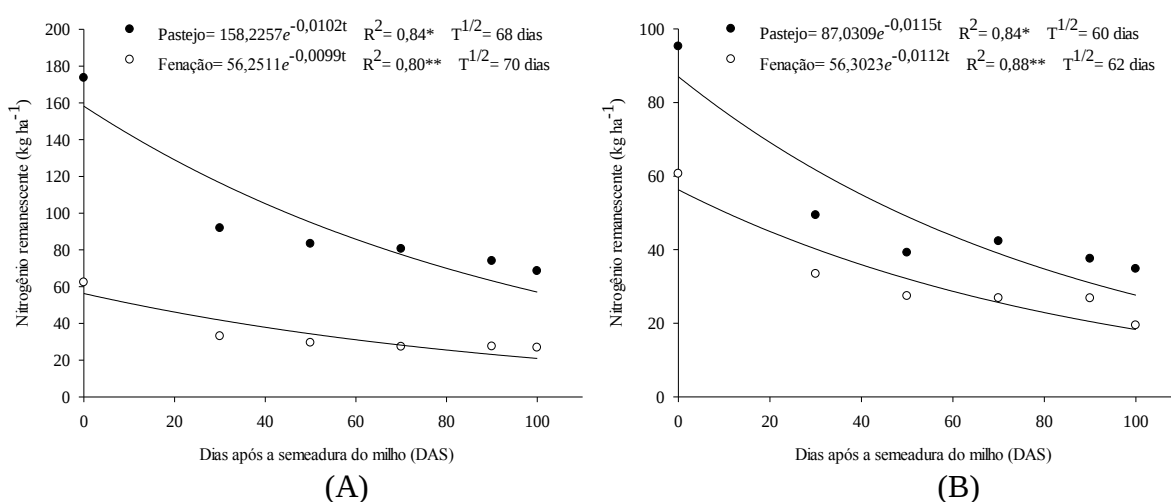


Figura 4 – Nitrogênio (N) remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).

Segundo Giacomini et al. (2007), conhecer o período de liberação de N dos resíduos culturais e a demanda pelo nutriente da cultura em sucessão é de fundamental importância, não

tão somente do ponto de vista da produtividade como da redução de riscos inerentes ao meio ambiente através da volatilização da amônia, lixiviação e emissão de óxido nitroso (N_2O).

Aos 40 DAS do milho, a quantidade de N liberada da MS remanescente foi de aproximadamente 56 kg ha^{-1} , quando pastejadas (Figura 4A e 4B). Sabe-se que a recomendação da adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem é entre os estádios V_2 e V_6 (NEPAR-SBCS, 2017), em torno de 40 dias após a semeadura, dessa forma, estes resultados iriam suprir a necessidade de adubação em 47%.

Segundo Calonego et al. (2012) a decomposição dos resíduos e liberação de N ocorrem em duas etapas, a primeira é caracterizada pela decomposição rápida dos componentes estruturais da planta, àqueles que se decompõe facilmente, com baixa relação C:N e a segunda é a decomposição lenta de materiais resistentes, com relação C:N maior.

Em relação ao P remanescente, observou-se que a quantidade nos resíduos vegetais das forrageiras submetidas à fenação foi menor em relação às pastejadas (Figura 5A e B). Tal resultado deve-se ao fato de grande parte deste elemento estar associado aos componentes estruturais da planta (HAWKESFORD et al., 2012). Na fenação, há o corte praticamente total da parte aérea e de maneira uniforme, exaurindo as reservas da planta, havendo dessa forma, a necessidade de maior extração do nutriente do solo, após cada corte. Além disso, para o pastejo, o corte não é uniforme e a redução de MS não foi tão drástica, contribuindo para o maior acúmulo de P nos resíduos vegetais.

Quanto à liberação de P dos resíduos das espécies forrageiras ao longo do tempo, observou-se que o período de maior liberação foi nos primeiros 50 dias, cerca de 50%, independente do manejo empregado ou safra (Figura 5A e 5B). Aos 100 DAS, quando as forrageiras foram manejadas com pastejo e fenação, registrou-se a permanência de 32% e 24% da quantidade inicial de P, respectivamente (2018/2019) (Figura 5A) e cerca de 20% e 29% respectivamente, para o segundo ano de condução (Figura 5B).

A maior parte do P do tecido vegetal encontra-se no vacúolo da célula, na forma mineral e solúvel em água (MARSCHNER, 1995), no entanto, para que seja liberado, o vacúolo deve ser rompido. Nesse sentido, considerando que durante os 50 primeiros dias após a implantação dos *litter bags* a chuva acumulada foi de 356 mm (Figura 1) e 455 mm (Figura 2), é provável que, neste período a maior parte do P solúvel em água tenha sido liberada, restando apenas o P não solúvel em água e dependente da ação microbiana (FROSSARD et al., 1995).

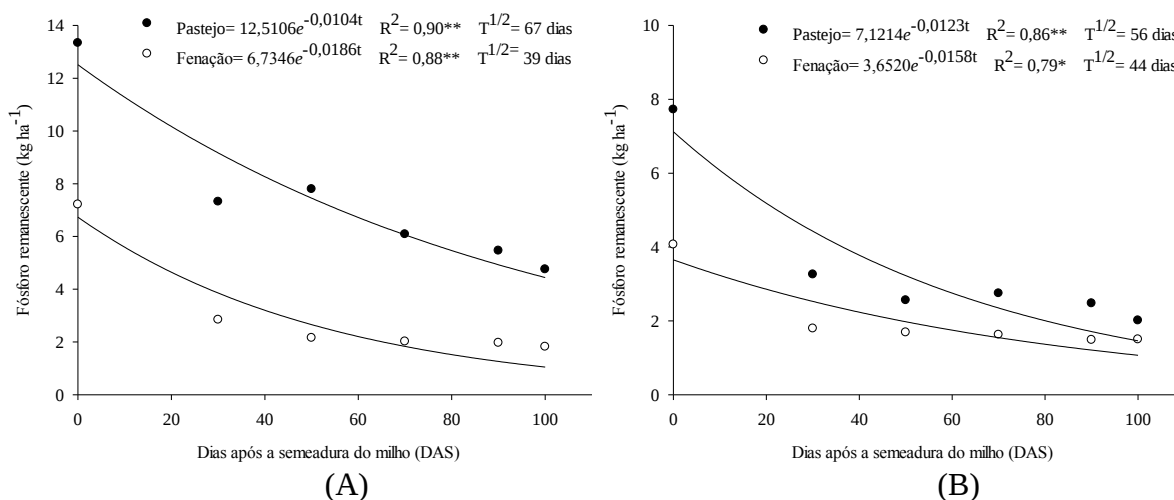


Figura 5 – Fósforo (P) remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).

O maior tempo de meia-vida do P é observado para o pastejo, 67 e 56 dias, para ambos os anos de condução (Figura 5A e 5B), no entanto, a velocidade com que o nutriente foi liberado, foi mais rápida, em relação à fenação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Assmann et al. (2017), avaliando a ciclagem de P em sistema de ILP, verificaram que a liberação de P é mais rápida em sistema de pastejo intensivo, devido a maior quantidade de dejetos produzidos pelos animais, alterando a dinâmica da atividade microbológica do solo.

O K foi o segundo nutriente mais extraído pelas plantas, destacando o manejo de pastejo, em que, a quantidade inicial (0 DAS) de K no tecido vegetal foi de aproximadamente 129 kg ha⁻¹ (safra 2018/2019) e 87 kg ha⁻¹ (safra 2019/2020), apresentando tempo de meia vida de 32 e 34 dias, respectivamente (Figura 6A e 6B).

A fenação acumulou em torno da metade da quantidade de K acumulado pelo pastejo, para ambos os anos de condução (Figura 6A e 6B). Este resultado é considerado comum, pois os nutrientes são exportados com as forragens colhidas (DUBEUX JUNIOR.; SOLLENBERGER, 2020).

A velocidade de liberação do K da matéria seca remanescente foi rápida, aos 50 DAS cerca de 65% e 64% do K acumulado na MS residual do pastejo das safras 2018/2019 e 2019/2020 respectivamente, havia sido liberado (Figura 6A e 6B). A velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, bem como a liberação dos nutrientes durante o processo, depende das características do material, volume, tipo de solo, manejo empregado e condições climáticas, especialmente temperatura e pluviosidade (MENDONÇA et al., 2015; VIOLA et al., 2013).

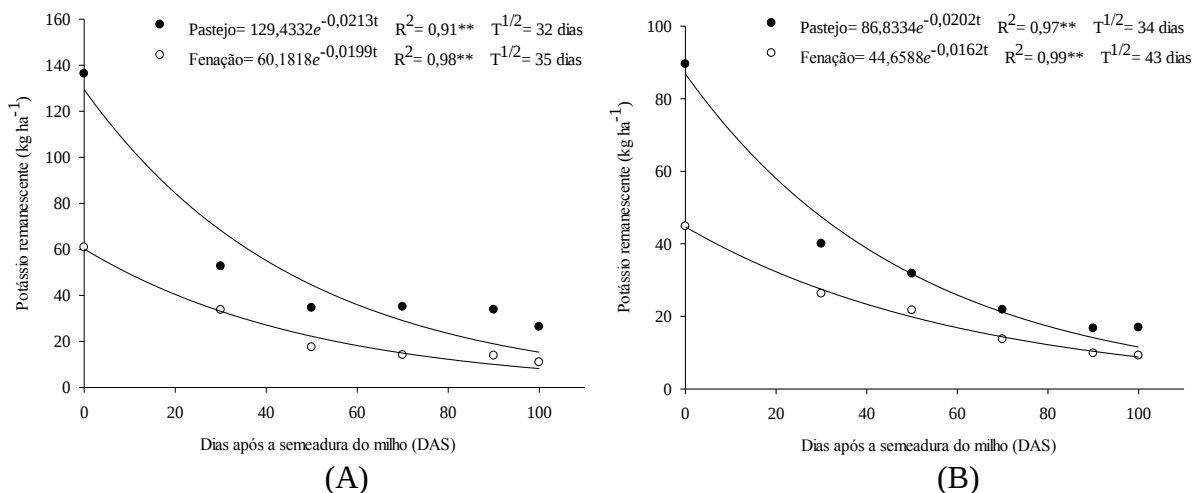


Figura 6 - Potássio remanescente dos resíduos vegetais ao longo do tempo, submetidos aos manejos de pastejo e fenação nas safras nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).

Aos 100 DAS, praticamente todo o K havia sido liberado, restando em média 13% para a safra 2018/2019 (Figura 6A) e 16% para a safra 2019/2020 (Figura 6B). Esses resultados corroboram os de Leite et al. (2010) e Santos et al. (2014) em que, apenas 6% e 7% da quantidade remanescente do nutriente na palhada de milho + *U. ruziziensis* e *U. brizantha* cv. Marandu, não foi liberada, respectivamente.

A rápida liberação de K ocorre em função do elemento não estar associado a componentes estruturais do tecido vegetal (MALUF et al., 2015; TAIZ e ZEIGER, 2016). Dessa forma, à medida que os resíduos iniciam o processo de decomposição, a concentração de K reduz rapidamente, já que é facilmente lavado pela água das chuvas, após o rompimento das membranas plasmáticas (CALONEGO et al., 2012). Deste modo, a pluviosidade observada no período da decomposição da primeira safra (Figura 1) pode ter contribuído para uma maior liberação do K dos resíduos remanescentes.

Como observado, o uso de forrageiras tropicais em SIPAs é uma alternativa viável, por aportar grande quantidade de MS e promover a ciclagem de nutrientes, podendo gerar maior economia e eficiência na adubação.

Segundo Vilela et al. (2015) as forrageiras tropicais perenes são consideradas excelentes no que se refere a ciclagem de nutrientes, estima-se que em equivalente-fertilizante, proporcionam por ano em torno de 60 kg ha⁻¹ de ureia, 95 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 85 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Os nutrientes absorvidos e incorporados nos resíduos vegetais, podem vir a reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de aplicação de fertilizantes em cultivos posteriores, devido à recuperação dos fertilizantes aplicados. De acordo com Vendramini et al. (2014) a ciclagem de nutrientes em SIPAs consiste em uma importante fonte de nutrientes e melhora a eficiência de

uso de nutrientes, evitando, desta forma, possíveis perdas e resultando em sistemas de produção mais sustentáveis.

Levando em consideração a média dos dois anos das quantidades de N, P e K liberadas até 100 dias das forrageiras na área pastejada e transformando-se em equivalentes dos adubos, estima-se uma economia de R\$ 965,47 por hectare em fertilizantes (Tabela 3).

Tabela 16 - Economia (R\$ ha⁻¹) com base nas quantidades de fertilizantes equivalentes às quantidades de N, P e K liberados pela palhada remanescente das forrageiras submetidas ao pastejo até 100 dias após a semeadura do milho silagem

Nutriente	Liberado pela palhada	Equivalente em fertilizante ⁽¹⁾	Economia
	----- kg ha ⁻¹ -----		R\$ ha ⁻¹
N	80	178	448,56
P ₂ O ₅	16	87	133,11
K ₂ O	115	190	383,80
Total			965,47

⁽¹⁾N: Ureia (45% N, R\$2,52 kg⁻¹); P: Superfosfato Simples (18% P₂O₅, R\$1,53 kg⁻¹); K: Cloreto de Potássio (60% K₂O, R\$2,02 kg⁻¹). Preços médios dos fertilizantes fornecidos por empresas locais. US\$ = R\$5,60 (06/04/2021).

4.4 CONCLUSÕES

O consórcio da cultura do milho com forrageiras é uma alternativa para elevar a quantidade de palhada e ciclagem de nutrientes.

A espécie *U. brizantha* e o manejo de fenação, deixam menores quantidades de resíduos e disponibilizam menores quantidades de nutrientes para as culturas em sucessão.

As maiores produtividades de matéria seca residuais e acúmulo de nutrientes foram obtidos quando as forrageiras foram pastejadas, garantindo quantidade acima de 4.000 kg ha⁻¹ de matéria seca para continuidade do sistema de plantio direto.

A fenação deve ser realizada com muito critério pois reduz acentuadamente a deposição de cobertura morta sobre o solo e consequentemente a ciclagem de nutrientes.

O emprego das forrageiras, *U. brizantha* e *M. maximum*, em sistemas de integração lavoura-pecuária são alternativas viáveis para a redução de perdas no sistema, aumentando a recuperação dos fertilizantes aplicados e resultando em sistemas mais sustentáveis.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMAN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. H.; COSTA, S. E. V. G. A.; SILVA, R. A. P.; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. 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**, v. 108, p. 21–33, 2017.
- BARBOSA, J. Z.; FERREIRA, C. F.; SANTOS, N. Z.; MOTTA, A. C. V.; PRIOR, S.; GABARDO, J. Production, carbono and nitrogen in stover fractions of corn (*Zea mays* L.) in response to cultivar development, **Ciência Agrotecnológica**, v. 40, n. 6, p. 665–675, 2016.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V.; Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiaria e labe-labe. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 770-781 2012.
- CARVALHO, P. C. D. F.; BARRO, R. S.; BARTH NETO, A.; NUNES, P. A. D. A.; MORAES, A. D.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; BAYER, C.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; SANTOS, D. T.; CARMONA, F. C.; BARROS, T.; SOUZA FILHO, W.; ALMEIDA, G. M.; CAETANO, L. A. M.; CECAGNO, D.; ARNUTI, F.; DENARDIN, L. G. O.; BONETTI, J. A.; TONI, C. A. G.; BORIN, J. B. M. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, p. 01-12, 2018.
- CASTAGNARA, D. D.; MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; OLIVEIRA, P. S. R.; DEMINICIS, B. B.; BAMBERG, R. Valor nutricional e características estruturais de gramíneas tropicais sob adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 232, p. 931-942, 2011.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47 n. 8, p. 1038-47, 2012.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 818-829, 2015.
- COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRARI NETO, J.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 2, p. 159-168, 2016.
- DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U.; FURTINI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; LOURIVAL, V. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop corn system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, v. 158, n. 3, p. 206-2017, 2020.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; VENDRAMINI, J. M. B.; INTERRANTE, S. M.; LIRA JUNIOR, M. A. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: how are they linked? **Crop Science**, v. 54, n. 5, p. 2341-2350, 2014.

DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Nutrient cycling in grazed pastures. In: ROUQUETTE JUNIOR, M.; AIKEN, G. **Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures**. Flórida: Academic Press, 2020, p.59–75.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GIACOMINI, S. J.; RECOUS, S.; MARY, B.; AITA, C. Simulating the effects of N availability, straw particle size and location in soil on C and N mineralization. **Plant Soil**, v. 301, n. 1, p. 289–301, 2007.

GUARNIERI, A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, C. B. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1185-1198, 2019.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L.; LUZ, L. V.; BARCELLOS, A. L. Ciclagem de nitrogênio em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2 (especial), p. 663-676, 2014.

JOCHIMS, F.; SILVA, P. A. P.; PORTES, V. M. Utilizando a altura do pasto como ferramenta de manejo de pastagens. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 2, p. 42-44, 2018.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Taxa de composição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KUZYAKOV, Y.; FRIDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 11-12, p. 1485-1498, 2000.

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, G. W.; O'DONOVAN, J. T.; HARKER, K. N.; TURKINGTON, T. K.; SOON, Y. K. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 95, n. 1, p. 231-239, 2007.

NEPAR-SBCS - Núcleo Estadual Paraná-Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALUF, H. J. G. M., SOARES, E. M. B., SILVA, I. R. D., NEVES, J. C. L.; SILVA, L. D. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I – Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1553-1567, 2012.

MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; EGEWARTH, J. F.; REGO, C. A. R. M.; PIANO, J. T.; HERRERA, J. L. Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2018.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CASTILHOS, A. M. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 433-447, 2016.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 183-193, 2015.

OLIVEIRA, S. M.; ALMEIDA, R. E. M.; JUNIOR, C. P.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, n. 3, p. 1-9, 2019.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 1. ed. San Diego: Academic Press. 1989, 275 p.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. L. S.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Resíduo de *Brachiaria* fertilizada com nitrogênio, na adubação do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 366-373, 2014.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; DIETRICH, G.; SKOLAUDE, A. C.; LUDKE, W. H.; SCHMATZ, R.; GIACOMINI, S. J. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 65-75, 2014.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 3443-3460, 2019.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCIMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 235 p.

SILVA, J.F.G.; GONÇALVES, W.G.; COSTA, K.A.P.; FLÁVIO NETO, J.; BRITO, M.F.; SILVA, F.C.; SEVERIANO, E.C. Crop-livestock integration and the physical resilience of a degraded Latosol Integração agricultura-pecuária e resiliência física de um Latossolo degradado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 2973-2990, 2019.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H., VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Boletim Técnico, n. 5, 2. ed. 1995, 174p.

TRUONG, T. H. H.; MARSCHNER, P. Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. **Geoderma**, v. 319, p. 167-174, 2018.

VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; WRUCK, F. J.; OLIVEIRA, P.; PEDREIRA, B. C.; CORDEIRO, L. A. M. Práticas e manejo de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária na Safra e Safrinha para as Regiões Centro-Oeste e Sudeste. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração Lavoura-PecuáriaFloresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 103- 119. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

VIOLA, R.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.