

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Escola de Veterinária**

**Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

Gustavo Henrique Silva Camargos

**GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTEGRADOS COM MILHO E SOJA  
NO CERRADO**

Belo Horizonte

2025

Gustavo Henrique Silva Camargos

**GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTEGRADOS COM MILHO E  
SOJA NO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do grau de Mestre em Zootecnia

Área de concentração: Produção de Ruminantes

Orientadora: Profª. Dra. Ângela Maria Quintão Lana

Coorientador: Dr. Alan Figueiredo de Oliveira

Belo Horizonte

2025

C173g Camargos, Gustavo Henrique Silva, 1994-  
Gramíneas forrageiras em sistemas integrados com milho e soja no  
cerrado/ Gustavo Henrique Silva Camargos.- 2025.  
106 f: il.

Orientadora: Ângela Maria Quintão Lana  
Coorientador: Alan Figueiredo de Oliveira  
Dissertação (Mestrado) apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da  
UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.  
Área de concentração: Produção de Ruminantes.  
Bibliografia f. 91 a 99.

1. Bovino - Teses – 2. Alimentação e rações - Teses - 3. Gramínea  
Forrageira – Teses – 4. Valor nutricional – Teses - I. Lana, Ângela Maria Quintão  
- II. Oliveira, Alan Figueiredo de – III. Universidade Federal de Minas Gerais,  
Escola de Veterinária – IV. Título.

CDD – 633.2

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes CRB 2569 Biblioteca  
da Escola de Veterinária, UFMG.



Escola de Veterinária  
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG  
TELEFONE (31)-3409-2173

[www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao](http://www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao)  
E-mail [cpzootec@vet.ufmg.br](mailto:cpzootec@vet.ufmg.br)

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE GUSTAVO HENRIQUE SILVA CAMARGOS

Às 08:30 horas do dia 28 de fevereiro de 2025, reuniu-se, a Comissão Examinadora de dissertação, aprovada em reunião ordinária no dia 05/08/2024, para julgar, em exame final, a defesa da dissertação intitulada:

Graníneas forrageiras em sistemas integrados com milho e soja no cerrado.

\_\_\_\_\_, como requisito final para a obtenção do Grau de Mestre em Zootecnia, área de concentração Produção de Ruminantes

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Profa. Ângela Maria Quintão Lana, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de dissertação, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da dissertação, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

|                                                  | Aprovada                            | Reprovada                |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Prof.(a)/Dr.(a) <u>Allan Kardec Braga Ramos</u>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Prof.(a)/Dr.(a) <u>Lúcio Carlos Gonçalves</u>    | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Prof.(a)/Dr.(a) <u>Ângela Maria Quintão Lana</u> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Prof.(a)/Dr.(a) _____                            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> |
| Prof.(a)/Dr.(a) _____                            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> |

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): ☒ Aprovado (a)

☐ Reprovado (a)

Para concluir o Mestrado, o candidato (a), se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da dissertação apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2025.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ALLAN KARDEC BRAGA RAMOS  
Data: 28/02/2025 17:08:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lúcio Carlos Gonçalves  
Justina

Doutorado/Atadefesa.doc

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me permitir acordar todos os dias com saúde, vontade, determinação, perseverança e garra para enfrentar os desafios diários até chegar aqui.

Aos meus pais, Márcio Camargos e Mírian Camargos, meu eterno agradecimento por todo o apoio que me foi dado e por serem fontes de inspiração, além de exemplos de garra, determinação, perseverança e honestidade.

À minha namorada, Talita Oliveira, agradeço pelos incentivos, pela amizade, empatia e por ser minha companheira em todos os momentos.

Ao meu amigo e orientador da graduação, professor Dr. Lúcio Gonçalves, expresso minha gratidão pelo companheirismo, suporte, amizade, confiança e comprometimento com minha formação profissional e pessoal.

À minha orientadora, Dra. Ângela Lana, e ao meu coorientador, Dr. Alan Oliveira, agradeço por todo o apoio concedido.

Ao Dr. Roberto Guimarães, sou grato por todo o suporte, confiança, conhecimentos transmitidos e disponibilidade para me ajudar durante a condução desta pesquisa.

A todos os auxiliares de campo, técnicos, pesquisadores e estagiários da Embrapa Cerrados que colaboraram para a realização desta pesquisa, meu sincero agradecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, agradeço pela oferta de cursos de qualidade e pela oportunidade de desenvolvimento profissional e pessoal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudos.

À Embrapa Cerrados, por disponibilizar toda a estrutura de campo, laboratórios e mão de obra para a condução desta pesquisa, e à Unipasto, pelo apoio financeiro.

Muito obrigado.

“Quando nada parece dar certo, vou ver o cortador de pedras martelando sua rocha talvez 100 vezes, sem que uma única rachadura apareça. Mas na centésima primeira martelada a pedra se abre em duas, e eu sei que não foi aquela que conseguiu isso, mas todas as que vieram antes.”

(Jacob Riis)

## RESUMO

Os sistemas de produção integrados se destacam entre as principais tecnologias agropecuárias que possibilitam a produção de alimentos de maneira mais sustentável. No entanto, a escolha adequada da gramínea forrageira para consórcio com culturas anuais é um fator crítico nesse sistema. Este estudo teve como objetivo avaliar a produtividade, o valor nutritivo e a dinâmica de decomposição da biomassa de gramíneas forrageiras consorciadas com milho em sistemas integrados com soja no Cerrado, partindo da hipótese de que essas gramíneas apresentam estabelecimento adequado e diferem entre si quanto às características agronômicas, produtividade e valor nutritivo com potencial de uso na alimentação animal e como plantas de cobertura. Também se espera que os genótipos apresentem diferenças na quantidade de biomassa acumulada e na dinâmica de decomposição dos nutrientes durante o cultivo da soja na safra no Cerrado, sem, no entanto, afetar significativamente as características agronômicas e a produtividade da cultura. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, em delineamento em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas e quatro repetições por tratamento. As parcelas consistiram nos consórcios do milho com sete forrageiras: *Urochloa decumbens*, genótipos “254-1”, “R86” e cultivar “Basilisk”, *U. ruziziensis*, cultivares “Kennedy” e “BRS Integra”, híbrido de *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. brizantha*, “1242-10” e *Andropogon gayanus* cv. BRS Sarandi. As subparcelas corresponderam a três períodos de avaliação: abril, junho e setembro. Os capins “254-1”, “R86” e “BRS Integra” apresentaram alta produtividade de forragem, enquanto o genótipo “1242-10” destacou-se pelo alto valor nutritivo. As gramíneas “BRS Sarandi”, “254-1” e “R86” produziram 72.7% mais biomassa em relação à média dos genótipos “BRS Integra”, “Kennedy” e “1242-10” (3184 vs. 1843 kg ha<sup>-1</sup>). O genótipo “254-1” liberou altas quantidades de nutrientes essenciais ao solo, como nitrogênio, fósforo e potássio, favorecendo a ciclagem de nutrientes. Os resultados indicam que os capins “R86”, “254-1” e “BRS Sarandi” apresentam alto potencial para consórcio com milho no Cerrado, combinando boa produtividade, valor nutritivo e padrão de decomposição favorável à fertilidade do solo. Tais achados podem contribuir para o aprimoramento de sistemas agropecuários mais sustentáveis no Cerrado, auxiliando na escolha de gramíneas forrageiras mais eficientes para consórcios agrícolas.

Palavras-chave: características agronômicas; composição química; planta de cobertura; integração lavoura-pecuária.

## ***ABSTRACT***

Integrated production systems stand out as key agricultural technologies that enable more sustainable food production. However, the appropriate selection of forage grasses for intercropping with annual crops is a critical factor in this system. This study aimed to evaluate the productivity, nutritional value, and biomass decomposition dynamics of forage grasses intercropped with maize in integrated systems with soybeans in the Cerrado. The hypothesis is that these grasses establish adequately and differ in their agronomic characteristics, productivity, and nutritional value, with potential for use in animal feed and as cover crops. It is also expected that the genotypes will exhibit differences in biomass accumulation and nutrient decomposition dynamics during soybean cultivation in the Cerrado cropping season, without significantly affecting the agronomic traits and productivity of the crop. The experiment was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, using a randomized block design with a split-plot arrangement and four replications per treatment. The plots consisted of maize intercropped with seven forage species: *Urochloa decumbens*, genotypes “254-1”, “R86”, and cultivar “Basilisk”; *U. ruziziensis*, cultivars “Kennedy” and “BRS Integra”; hybrid of *U. decumbens*, *U. ruziziensis*, and *U. brizantha*, “1242-10”; and *Andropogon gayanus* cv. BRS Sarandi. The subplots corresponded to three evaluation periods: April, June, and September. The grasses “254-1”, “R86”, and “BRS Integra” showed high forage productivity, while the genotype “1242-10” stood out for its high nutritional value. The grasses “BRS Sarandi”, “254-1”, and “R86” produced 72.7% more biomass compared to the average of the genotypes “BRS Integra”, “Kennedy”, and “1242-10” (3184 vs. 1843 kg ha<sup>-1</sup>). The genotype “254-1” released high amounts of essential nutrients to the soil, such as nitrogen, phosphorus, and potassium, promoting nutrient cycling. The results indicate that the grasses “R86”, “254-1”, and “BRS Sarandi” have high potential for intercropping with maize in the Cerrado, combining good productivity, nutritional value, and favorable decomposition patterns for soil fertility. These findings may contribute to the improvement of more sustainable agricultural systems in the Cerrado, helping to select more efficient forage grasses for agricultural intercropping.

Key-words: agronomy characteristics; chemical composition; cover crop; integrated crop-livestock.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Série histórica da precipitação pluvial acumulada e das temperaturas média, máxima e mínima mensais registradas no período de 1974 a 2021 – Planaltina, DF .....                                                                                                                                 | 46 |
| Figura 2. Precipitação pluvial acumulada e temperaturas média, máxima e mínima mensais registradas de novembro de 2022 a março de 2024 – Planaltina, DF .....                                                                                                                                              | 47 |
| Figura 3. Diagrama dos experimentos: milho consorciado com gramíneas forrageiras, livre crescimento das gramíneas forrageiras, rebrote das gramíneas forrageiras, dessecação e cultivo da soja sobre as palhadas das gramíneas forrageiras dessecadas, em sucessão, em sistema de produção integrado ..... | 48 |
| Figura 4. Quantidade de biomassa remanescente das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24 .....                                                                                                      | 62 |
| Figura 5. Dinâmica de desaparecimento aparente do nitrogênio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24.....                                                                            | 65 |
| Figura 6. Dinâmica de desaparecimento aparente do fósforo na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24 .....                                                                              | 66 |
| Figura 7. Dinâmica de desaparecimento aparente do potássio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24.....                                                                              | 67 |
| Figura 8. Dinâmica de desaparecimento aparente do magnésio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24.....                                                                              | 68 |

Figura 9. Dinâmica de desaparecimento aparente do enxofre na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24..... 69

Figura 10. Dinâmica de desaparecimento aparente do cálcio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24 ..... 70

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Produtividade média de grãos de milho do híbrido LG 36790 VTPRO3 em cultivo solteiro ou consorciado em primeira safra com gramíneas forrageiras - Planaltina, DF, 2022/23.....                                                                                                                                                                                        | 54 |
| Tabela 2. Altura, produtividade e densidade de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra nos diferentes cortes abril, junho e setembro - Planaltina, DF, 2022/23 .....                                                                                                                                                                     | 54 |
| Tabela 3. Concentrações de PB, FDNp, FDAp e celulose de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra nos diferentes cortes abril, junho e setembro - Planaltina, DF, 2022/2023 .....                                                                                                                                                          | 56 |
| Tabela 4. Concentrações de lignina, hemiceluloses, fósforo, NIDA e cálcio em gramíneas forrageiras consorciadas com o milho em primeira safra por corte abril, junho e setembro – Planaltina, DF, 2022/23 .....                                                                                                                                                                 | 58 |
| Tabela 5. Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS e da MO de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra – Planaltina, DF, 2022/2023 .....                                                                                                                                                                                                     | 59 |
| Tabela 6. Quantidade inicial de biomassa seca, concentração inicial de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e relação lignina:nitrogênio na palhada de gramíneas forrageiras provenientes do consórcio com o milho em primeira safra e manejadas para plantio direto subsequente de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF, 2023 .....                              | 60 |
| Tabela 7. Concentrações iniciais de frações fibrosas (FDNp e FDAp) e lignina na palhada de gramíneas forrageiras provenientes do consórcio com o milho em primeira safra e manejadas para plantio direto subsequente de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF, 2023.....                                                                                       | 61 |
| Tabela 8. Equações, tempo de meia-vida ( $t/2$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para variáveis biomassa remanescente, nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre e cálcio na dinâmica de decomposição das palhadas de gramíneas forrageiras sob cultivo de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF. Período de 120 dias (novembro a março) ..... | 62 |

Tabela 9. Quantidades equivalentes de nitrogênio, ureia, pentóxido difósforo, superfosfato simples, óxido de potássio e cloreto de potássio liberados da biomassa dessecada (palhada) de gramíneas forrageiras ao longo de 120 dias sob cultivo com a soja – Planaltina, DF ..... 70

Tabela 10. Equivalente (R\$ ha<sup>-1</sup>) em função das quantidades de equivalentes em fertilizantes aparentemente liberados pelas palhadas das gramíneas forrageiras até 120 dias após a dessecação - Planaltina, DF ..... 71

Tabela 11. Altura de planta e de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta e número de plantas por área, peso de 1000 grãos e produtividade de soja cultivada sobre a biomassa de gramíneas forrageiras provenientes do cultivo com milho no ano agrícola anterior – Planaltina, DF ..... 71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |                                                                      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $t/2$             | Tempo de meia-vida                                                   |
| Al                | Alumínio                                                             |
| ANOVA             | Análise de variância                                                 |
| C                 | Carbono                                                              |
| Ca                | Cálcio                                                               |
| CaCl <sub>2</sub> | Cloreto de cálcio                                                    |
| Capes             | Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| cm                | Centímetro                                                           |
| cmolc             | Centimol de carga                                                    |
| CNPq              | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico        |
| DAE               | Dias após a emergência                                               |
| DAS               | Dias após a semeadura                                                |
| DBC               | Delineamento em blocos ao acaso                                      |
| DF                | Distrito Federal                                                     |
| Dia <sup>-1</sup> | Por dia                                                              |
| DIVMO             | Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica                  |
| DIVMS             | Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca                      |
| dm <sup>-3</sup>  | Por decímetro cúbico                                                 |
| Embrapa           | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                          |

|                        |                                                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| EPM                    | Erro padrão da média                                                      |
| FDA                    | Fibra insolúvel em detergente ácido                                       |
| FDAp                   | Fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para proteína contaminante  |
| FDN                    | Fibra insolúvel em detergente neutro                                      |
| FDNp                   | Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteína contaminante |
| g                      | Grama                                                                     |
| GMD                    | Ganho de peso médio diário                                                |
| H                      | Hidrogênio                                                                |
| h                      | Hora                                                                      |
| ha <sup>-1</sup>       | Por hectare                                                               |
| HCl                    | Ácido clorídrico                                                          |
| i. a                   | Ingrediente ativo                                                         |
| ILP                    | Integração lavoura-pecuária                                               |
| IMS                    | Ingestão de matéria seca                                                  |
| K                      | Potássio                                                                  |
| K <sub>2</sub> O       | Óxido de potássio                                                         |
| KCl                    | Cloreto de potássio                                                       |
| kg                     | Quilograma                                                                |
| L 100 <sup>-1</sup> kg | Litro por cem quilogramas                                                 |
| L                      | Litro                                                                     |

|                               |                                          |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| L <sup>-1</sup>               | Por litro                                |
| m                             | Metro                                    |
| m <sup>-2</sup>               | Por metro quadrado                       |
| Mg                            | Magnésio                                 |
| mg                            | Miligrama                                |
| min <sup>-1</sup>             | Por minuto                               |
| mL                            | Mililitro                                |
| mm                            | Milímetro                                |
| MO                            | Matéria orgânica                         |
| MS                            | Matéria seca                             |
| N                             | Nitrogênio                               |
| N <sub>2</sub> O              | Óxido nitroso                            |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | Amônio                                   |
| NIDA                          | Nitrogênio insolúvel em detergente ácido |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | Nitrito                                  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | Nitrato                                  |
| P                             | Fósforo                                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Pentóxido difósforo                      |
| parcela <sup>-1</sup>         | Por parcela                              |
| PB                            | Proteína bruta                           |

|                      |                                                                                                                                       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| pH                   | Potencial hidrogeniônico                                                                                                              |
| Plano ABC+           | Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com Vistas ao Desenvolvimento Sustentável |
| planta <sup>-1</sup> | Por planta                                                                                                                            |
| PV                   | Peso vivo                                                                                                                             |
| <i>P</i> -valor      | Valor de probabilidade                                                                                                                |
| S                    | Enxofre                                                                                                                               |
| SPD                  | Sistema plantio direto                                                                                                                |
| SPS                  | Superfosfato simples                                                                                                                  |
| SS                   | Semeadura simultânea                                                                                                                  |
| t                    | Tonelada                                                                                                                              |
| U                    | Ureia                                                                                                                                 |
| UA                   | Unidade animal                                                                                                                        |
| UFC                  | Unidade formadora de colônia                                                                                                          |
| UFMG                 | Universidade Federal de Minas Gerais                                                                                                  |



## LISTA DE SÍMBOLOS

|    |                 |
|----|-----------------|
| %  | Porcentagem     |
| ~  | Aproximadamente |
| °C | Grau Celsius    |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>REVISÃO DE LITERATURA – GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SISTEMAS COM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....</b>                                                                 | <b>19</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                                            | <b>19</b> |
| <b>2. PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM CONSÓRCIO COM CULTURAS ANUAIS .....</b>                                                                               | <b>21</b> |
| <b>3. PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRITIVO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ESTABELECIDAS EM SUCESSÃO ÀS CULTURAS ANUAIS .....</b>                                                 | <b>28</b> |
| <b>4. CICLAGEM DE NUTRIENTES DA BIOMASSA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO.....</b>                                   | <b>32</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                                                                   | <b>36</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                                                              | <b>37</b> |
| <b>PRODUTIVIDADE, VALOR NUTRITIVO E DINÂMICA DE DECOMPOSIÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS CONSORCIADAS COM O MILHO EM SISTEMAS INTEGRADOS COM A SOJA NO CERRADO .....</b> | <b>43</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                                            | <b>43</b> |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                                                                                                                     | <b>45</b> |
| 2.1 Descrição da área.....                                                                                                                                            | 45        |
| 2.2 Desenho experimental .....                                                                                                                                        | 47        |
| 2.3 Estabelecimento das culturas.....                                                                                                                                 | 48        |
| 2.4 Características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras.....                                                                                         | 49        |
| 2.5 Análises de composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras.....                                                                                        | 49        |

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6 Avaliação da biomassa de cobertura e nutrientes totais.....                      | 50        |
| 2.7 Estabelecimento, manejo e avaliação de características agronômicas da soja ..... | 51        |
| 2.8 Análises estatísticas .....                                                      | 52        |
| <b>3. RESULTADOS.....</b>                                                            | <b>53</b> |
| 3.1 Características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras.....        | 53        |
| 3.2 Composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras .....                  | 56        |
| 3.3 Avaliação da biomassa de cobertura e ciclagem de nutrientes .....                | 60        |
| 3.4 População de plantas, características agronômicas e produtividade da soja .....  | 71        |
| <b>4. DISCUSSÃO .....</b>                                                            | <b>72</b> |
| 4.1 Características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras.....        | 72        |
| 4.2 Composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras .....                  | 78        |
| 4.3 Biomassa de cobertura e ciclagem de nutrientes .....                             | 84        |
| 4.4 População de plantas, características agronômicas e produtividade da soja .....  | 94        |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                                                             | <b>95</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                             | <b>96</b> |

## **REVISÃO DE LITERATURA – GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM SISTEMAS COM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

### **1. INTRODUÇÃO**

As atividades antrópicas têm sido apontadas como as principais causas das mudanças climáticas que vêm desafiando fortemente os setores globais. Modificações nos padrões de temperatura e precipitação pluvial já foram reportadas e predições indicam novas alterações para os próximos anos (IPCC, 2023; Bhatti et al., 2024). Para reduzir tais modificações, os setores vêm sendo estimulados ao uso mais eficiente dos recursos, adotando-se, especialmente, práticas mais sustentáveis. O Brasil tem aproximadamente 161 milhões de hectares de áreas de pastagens, as quais 25.7% estão em alto vigor, 40.3% médio e 34.0% baixo vigor (MAPBiomass Brasil, 2023). Em função disso, os sistemas pecuários no país ainda produzem aquém do seu potencial. Na agricultura, parte das operações ocorrem com elevada dependência de fertilizantes externos, de alto custo, com o emprego de práticas que resultam na baixa eficiência de uso e que contribuem para elevar a emissão de gases de efeito estufa. Tais problemáticas desafiam o setor agropecuário; entretanto, evidenciam o espectro de oportunidades para a implementação de alternativas tecnológicas que podem promover melhorias.

Os sistemas de produção integrados consolidaram-se como alternativas tecnológicas que possibilitam intensificar o uso da terra, associando-se a exploração mais eficiente dos recursos ao mesmo tempo em que se promove a sustentabilidade ambiental. Portanto, tais sistemas têm se destacado entre as principais tecnologias com potencial para atender à crescente demanda global por alimentos (FAO e ITPS, 2015), resultante do progressivo aumento da população mundial (Hunter et al., 2017). Dentre as modalidades de sistemas integrados, a integração lavoura-pecuária (ILP) vem se destacando como uma das mais sustentáveis e competitivas tecnologias para a intensificação do setor agropecuário. Consiste na integração entre os componentes lavoura e pecuária, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área, em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos (Barcellos et al., 2011).

No Brasil, seu uso como alternativa efetiva para o restabelecimento da capacidade produtiva de áreas de pastagens em processo de degradação (Damian et al., 2023) de forma mais econômica é uma prática que tem crescido nos últimos anos. Para além da alimentação animal, nas áreas de

agricultura, as pastagens têm sido utilizadas como plantas de cobertura para o solo e como palhada para o sistema plantio direto (SPD). Como resultado, tem-se verificado aumentos em produtividade de carne (Dias et al., 2020, 2021; Muniz et al., 2021), leite e grãos e melhorias na fertilidade dos solos (Silva et al., 2024a; Silva et al., 2022). Nesse sistema, as gramíneas e as culturas anuais podem ser estabelecidas em cultivos consorciados, sucessivos ou rotativos. No entanto, a introdução de mais de uma cultura na mesma área estabelece nova dinâmica no que se refere à utilização de água, luz e nutrientes.

A escolha da planta com habilidade em se adaptar às condições de clima e solo da região e aos interesses do sistema de produção são fatores condicionantes para o sucesso da ILP, considerando-se o balanço entre a disponibilidade e a qualidade da forragem produzida (Muniz et al., 2021), assim como a distribuição dessa produção ao longo do ano (Tesk et al., 2020). A ILP está conectada à recuperação estrutural do solo com o benefício de minimizar a estacionalidade de produção das pastagens, o que é possível graças ao aproveitamento dos fertilizantes residuais da cultura anual (Guarnieri et al., 2019; Vilela et al., 2017) e por geralmente serem pastos em seu primeiro ano de cultivo (Dias et al., 2021) com mais vigor e maior valor nutritivo. Por muitos anos as forrageiras do gênero *Urochloa* spp. (Syn. *Brachiaria* spp.) foram utilizadas em sistemas integrados, principalmente a *Urochloa ruziziensis* cv. Kennedy (Syn. *Brachiaria ruziziensis* cv. Kennedy) (Carvalho et al., 2011), de fácil manejo, hábito de crescimento estolonífero que promove boa cobertura do solo, rápido estabelecimento, bom valor nutritivo, boa produção de forragem e de fácil dessecação. Entretanto, quando o interesse do produtor é intensificar o sistema de produção por meio do uso de pastagens mais produtivas, a utilização de outras cultivares de gramíneas forrageiras se faz necessária (Dias et al., 2021).

À medida que novas cultivares forrageiras com esse perfil foram sendo introduzidas no mercado, surgiu a necessidade de avaliá-las em sistemas de produção integrados. Por apresentarem elevado potencial de produção e capacidade suporte, as espécies de gramíneas forrageiras tropicais *Megathyrsus maximum* (Syn. *Panicum maximum*) e *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) vêm sendo utilizadas em sistemas de produção intensivos, os quais têm possibilitado alta produção de carne e leite (Euclides et al., 2016, 2018, 2019; Tesk et al., 2020). A ILP tem sido utilizada no Brasil como estratégia para a recuperação e renovação de pastagens e o governo brasileiro tem estimulado sua adoção por meio de políticas públicas, tal como o Plano ABC<sup>+</sup> (Mapa,

2021). Na ILP as gramíneas forrageiras podem ser consorciadas com culturas anuais para o estabelecimento de pastos a serem utilizados na alimentação animal e como biomassa de cobertura para o SPD. Assim, as diferentes cultivares de gramíneas forrageiras disponíveis no mercado, bem como os novos genótipos em teste nos programas de melhoramento precisam ser melhor avaliados, tanto seus impactos na produção de grãos quanto a capacidade de produzir forragem e biomassa em quantidade e qualidade sob condições de menor disponibilidade de água e luz.

O estudo do comportamento dessas espécies forrageiras em sistemas de ILP fornece indicadores importantes para auxiliar o produtor a escolher as cultivares mais adequadas aos consórcios utilizados em seu sistema produtivo. Além disso, estabelece referenciais úteis sobre a produtividade e a ciclagem de nutrientes provenientes das palhadas para as culturas plantadas em sucessão. Por essas razões, objetivou-se com este capítulo revisar a literatura sobre o desempenho de gramíneas forrageiras tropicais em sistema de ILP.

## **2. PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS EM CONSÓRCIO COM CULTURAS ANUAIS**

O consórcio de milho ou sorgo com gramíneas forrageiras tropicais é uma prática bem estabelecida. Ambas as graníferas apresentam crescimento inicial acelerado, o que aumenta sua capacidade de competir com as gramíneas forrageiras (Vilela et al., 2011). Na ILP, o consórcio de culturas graníferas com forrageiras é uma estratégia utilizada para antecipar o estabelecimento de pastos que seriam estabelecidos nesta mesma área somente após a colheita da cultura anual e garantir cobertura de solo para o SPD (Vilela et al., 2011). Nesse sentido, o uso de gramíneas mais produtivas constitui alternativa viável para prolongar o período de pastejo após a colheita da cultura anual ou mesmo para a formação de áreas de pastagens perenes. A cultivar “Kennedy” é uma das gramíneas mais utilizadas em sistemas integrados por permitir boa cobertura de solo, apresentar baixa capacidade de competição com a cultura anual, ter ampla oferta de sementes de qualidade e com custo inferior às demais gramíneas e por ser sensível a baixas doses de herbicidas, o que facilita a semeadura de outras culturas, como a soja, em sucessão. No entanto, em sistemas de produção pecuários mais intensificados ela vem sendo preterida em razão do seu menor potencial de produção na entressafra quando comparada a outras forrageiras (Dias et al., 2023).

Oliveira et al. (2020) avaliaram o desempenho das gramíneas “Kennedy” e *Urochloa brizantha*, cultivares “Maradu”, “Xaraés”, “BRS Paiaguás”, “BRS Ipyporã” e “BRS Piatã” consorciadas com um híbrido de sorgo. As cultivares “Marandu”, “BRS Piatã” e “BRS Paiaguás” produziram 20.8% a mais do que a cultivar “Kennedy” [4663 vs. 3860 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS)]. A cultivar “Xaraés” produziu 62.4% a mais do que a “Kennedy”, mas também superou ( $P < 0.05$ ) a “Marandu” em 50.7%. A cultivar “BRS Ipyporã” não diferiu da “Kennedy” ( $P > 0.05$ ) em produtividade após a colheita do sorgo. Sarto et al. (2021) relataram menores produtividades para as cultivares “Kennedy” e “BRS Ipyporã” quando comparadas às gramíneas *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça e “Marandu”. As cultivares “Kennedy” e “BRS Ipyporã” são de menor porte, o que as tornam menos produtivas. Por outro lado, as cultivares “Marandu”, “Xaraés”, “BRS Paiaguás” e “Mombaça” são de porte mais alto, apresentam folhas mais compridas e largas, elevada produção de MS, sendo seu uso favorável, especialmente quando se objetiva a formação de pastagens.

As forrageiras do gênero *Megathyrsus* spp. também apresentam relevância como opções para o estabelecimento de consórcio com cultivos anuais. Mello et al. (2023) e Mello et al. (2024) testaram o consórcio de milho e *Megathyrsus maximum* cv. BRS Quênia no período de safra. Em ambos os estudos a gramínea apresentou mais de 8000 kg ha<sup>-1</sup> de MS de forragem disponível com altura média de dossel próxima a 1.8 m, momentos próximo a colheita do milho [128 dias após a emergência (DAE)]. Carlos et al. (2023) conduziram ensaio semelhante para avaliar o desempenho da cultivar *Megathyrsus maximum* cv. BRS Zuri em consórcio com o milho. A cultivar apresentou quase 12000 kg ha<sup>-1</sup> de MS de forragem com altura média de 1.87 m, em momentos semelhantes de avaliação. Esses resultados demonstram que as forrageiras apresentaram elevada produção de massa de forragem que está relacionada ao hábito de crescimento cespitoso, folhas longas e largas, além das condições edafoclimáticas favoráveis. Isso indica seu potencial de suportar média a alta taxa de lotação animal, em curto período de tempo, após a colheita do milho, com possibilidade, por exemplo, de aumentar o número de ciclos de engorda por ano em um sistema de bovinos terminados a pasto.

Os capins *Megathyrsus maximum* cv. Massai e *Andropogon gayanus* Kunth cv. Planaltina foram estabelecidos em consórcio com o milho na segunda safra (Rodrigues et al., 2022). Esses genótipos produziram em quantidades similares (4996 kg ha<sup>-1</sup> de MS) quando semeadas a lanço.

No entanto, a cultivar “Massai” produziu 31.8% a mais de folhas em relação ao capim “Planaltina” (3300 vs. 2502 kg ha<sup>-1</sup>). Este que, por sua vez, apresentou maior taxa de alongamento de hastes quando comparado com a cultivar “Massai”. Tais resultados demonstram o potencial de uso desses capins em sistemas integrados, especialmente no período de entressafra. Essas gramíneas são mais tolerantes aos prolongados períodos de estiagem e aos solos com baixa fertilidade, sendo boas opções para as regiões com essas características, por exemplo, as áreas de Cerrado brasileiro. Por ser de baixo porte, a cultivar “Massai” pode ter manejo mais fácil em relação a forrageira “Planaltina”, que tem acelerado alongamento de hastes, especialmente no estágio reprodutivo (Sousa et al., 2010).

A gramínea forrageira “BRS Paiaguás”, cultivada nas entrelinhas e nas linhas de plantio do milho, produziu elevadas quantidades após a colheita dos grãos (junho) e no mês de outubro (5458 e 2547 kg ha<sup>-1</sup> de MS) (Guarnieri et al., 2019). A forrageira semeada nas linhas de plantio do milho produziu 21.0 e 48.5% a menos quando comparada com o tratamento gramínea forrageira em monocultivo nos dois meses de avaliação. Essa queda na produtividade foi resultado da competição entre as plantas no consórcio por água, luz, nutrientes e espaço, especialmente em função da semeadura no mesmo sulco de plantio. A menor disponibilidade de água e a baixa temperatura média no mês de outubro, em decorrência do agravamento do período seco, retardaram o rebrote das plantas, o que explica a maior diferença (48.5%) entre os tratamentos: consórcio e monocultivo. Entretanto, os resultados de produtividade da forrageira demonstram sua capacidade de produzir forragem no período do ano mais desafiador, o que está relacionado com sua tolerância à estiagem em função da sua habilidade de utilizar mais eficientemente a água (Costa et al., 2016).

A semeadura da cultivar “BRS Paiaguás” no sulco de plantio do milho provocou redução na altura das plantas de milho 30 e 60 dias após a semeadura (DAS), assim como no diâmetro de colmos e no número de folhas de plantas da granífera 30, 60 e 90 DAS (Guarnieri et al., 2019). A forrageira (“BRS Paiaguás”) apresenta elevado desenvolvimento de raízes que aumentam a demanda por nutrientes e, certamente intensifica a competição pelos fatores de crescimento e por espaço (Costa et al., 2016). A redução no diâmetro de colmos das plantas de milho pode provocar queda na produtividade de grãos, pois tal estrutura estoca fotoassimilados que são alocados durante a fase de enchimento dos grãos (Guarnieri et al., 2019). No entanto, o consórcio entre as culturas não afetou a população de plantas de milho (58750 plantas ha<sup>-1</sup>), o número de grãos por espiga



(595), o comprimento de espigas (0.191 m), o peso de 1000 grãos (325 g) e, especialmente a produtividade de grãos ( $10376 \text{ kg ha}^{-1}$ ), indicando que a cultivar “BRS Paiaguás” pode ser uma planta de escolha para o estabelecimento de consórcio com o milho.

Torino et al. (2020) estudaram a viabilidade do consórcio de milho com gramíneas forrageiras do gênero *Urochloa* spp. na segunda safra, em solo degradado. Durante 259 DAS, a produção acumulada da forrageira “Xaraés” foi de  $18496 \text{ kg ha}^{-1}$  de MS de forragem, enquanto as cultivares “BRS Paiaguás” e “Kennedy” produziram 6083 e  $8504 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Neste estudo, as variáveis agrônomicas do milho: altura de plantas e de inserção da primeira espiga, diâmetro e comprimento de espiga, diâmetro de colmo, número de grãos por espiga, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos não foram afetadas nos consórcios. A produtividade de grãos média foi de  $2526 \text{ kg ha}^{-1}$ , valor muito inferior ao encontrado por Guarnieri et al. (2019) ( $10376 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Durante a fase vegetativa, houve maior disponibilidade de água, o que estimulou o estabelecimento adequado do milho; entretanto; na fase reprodutiva isso não ocorreu. O balanço hídrico associado a compactação do solo provavelmente limitara a penetração das raízes das plantas, resultando em baixa produtividade de grãos. Isso mostra que a queda em produtividade de grãos não deve ser atribuída exclusivamente ao déficit hídrico, negligenciando-se as limitações impostas pelo solo. A cultura do milho tem baixa tolerância aos solos compactados (Alvarenga et al., 2006). Mesmo sob condições climáticas favoráveis nos estágios iniciais de desenvolvimento da planta de milho, em caso de déficit hídrico no período crítico, da pré-floração ao início do enchimento dos grãos (~ 30 dias após o pendoamento), ocorre queda na produção de grãos. Cerca de 2 dias antes e 7 dias após o pendoamento, inicia-se o desenvolvimento dos grãos e o déficit hídrico provoca redução no fluxo de assimilados, o que diminui a produção de grãos (Bergamaschi et al., 2006).

Santos et al. (2020) avaliaram o consórcio de sorgo e “BRS Paiaguás” em período de entressafra. A semeadura do capim nas entrelinhas do sorgo não afetou a altura, a população de plantas, o diâmetro de colmos e da panícula, o comprimento da panícula, o número de grãos por panícula, o peso de 1000 grãos e a produtividade de grãos de sorgo. As produtividades médias da cultivar “BRS Paiaguás” foram de 5170, 3885,  $3030 \text{ kg ha}^{-1}$  MS aos 30, 60 e 90 DAS, respectivamente, sem diferença entre o cultivo “solteiro” e consorciado com a semeadura do capim nas entrelinhas do sorgo. Por outro lado, a semeadura das forrageiras no sulco de plantio do sorgo, provocou queda na população de plantas de sorgo, no diâmetro de colmos aos 60 DAS e na

produtividade de grãos. Durante a fase vegetativa (~ 30 DAS) as plantas de sorgo alongam seus colmos devido ao rápido crescimento. Entretanto, no estágio reprodutivo (~ 60 DAS) esse crescimento desacelera e as plantas se tornam mais sensíveis ao déficit hídrico e à menor luminosidade (Santos et al., 2020), o que pode ser agravado no consórcio, devido à competição por nutrientes entre as plantas cultivadas no mesmo sulco de plantio. Os resultados desse estudo sugerem que a semeadura de gramíneas forrageiras nas entrelinhas do sorgo é uma prática que pode ser adotada.

Reduções no diâmetro de colmos e da panícula, no comprimento da panícula, no número de grãos por panícula, no peso de 1000 grãos e na produtividade de grãos de sorgo foram relatadas quando a cultivar “Xaraés” foi cultivada no mesmo sulco de plantio do sorgo em relação à monocultura de sorgo, o que não foi verificado para outras forrageiras, tais como a “Kennedy”, a “BRS Piatã”, a “BRS Paiaguás” e a “BRS Ipyporã” (Oliveira et al., 2020). A forrageira “Xaraés” tem porte alto e forma folhas e touceiras largas com sistema radicular agressivo, o qual possui alta capacidade de absorção de água e nutrientes (Moreira et al., 2015). Tais características, combinadas com o método de semeadura adotado, explicam os impactos negativos nas variáveis agrônomicas e na produtividade de grãos de sorgo. Esses resultados indicam que a interferência do método de semeadura da forrageira na linha de plantio do sorgo na produtividade de grãos é variável entre as cultivares de gramíneas forrageiras e que aquelas mais produtivas podem impactar de forma mais significativa.

A alta produção de forragem é desejável quando os interesses são produzir bovinos na entressafra e palhada para o SPD na safra subsequente, mas as gramíneas muito produtivas podem reduzir a produtividade de grãos devido à competição intraespecífica entre plantas. No estudo de Oliveira et al. (2020), o sorgo teve sua produtividade reduzida apenas no consórcio com a cultivar “Xaraés”, indicando que esta não foi uma gramínea adequada para esse consórcio. Ao contrário do milho, a planta de sorgo é menos sensível aos efeitos da competição por ter maior habilidade de alongar seus colmos, o que aumenta sua capacidade de captação de luz, sendo essa a provável explicação para a ausência de interferência na produção de grãos nos demais tratamentos. Sarto et al. (2021) não verificaram interferência na produção de grãos de sorgo, mas a de milho reduziu nos consórcios com as cultivares “Kennedy”, “BRS Ipyporã”, “Marandu” e “Mombaça” ( $P < 0.05$ ) nas safras 2015-2016 e 2016-2017. As produções foram 38.6 e 67.6% menores nos consórcios com

(“Marandu” e “BRS Ipyporã”) e (“Kennedy” e “Mombaça”), respectivamente, em relação ao monocultivo. O uso preferencial de gramíneas de menor porte e potencial de produção (“Kennedy” e “BRS Ipyporã”) no consórcio com o milho, justifica-se pela menor capacidade de competição pelos fatores de crescimento (água, luz e nutrientes) dessas plantas, quando comparado as de maior porte e potencial de crescimento (“Marandu” e “Mombaça”). Os autores atribuíram a maior pluviosidade como causa da queda mais acentuada na produtividade do milho consorciado com as cultivares “Kennedy” e “Maradu” na safra 2016-2017 (67.6%), sugerindo que quanto mais água e luz disponíveis, maior a capacidade dessas gramíneas competirem e causar redução na produção de grãos.

A interferência no rendimento de grãos da cultura é variável e dependente das condições de solo, clima, tipo de cultivar e manejo adotado nos consórcios (Santos et al., 2014). Soares et al. (2024) verificaram redução acentuada na produtividade de grãos de milho em consórcio com as cultivares “BRS Piatã”, “BRS Paiaguás” e “Kennedy”. A produtividade média de grãos no consórcio foi de 5699 kg ha<sup>-1</sup> em 2017 e 1774 kg ha<sup>-1</sup> em 2018; entretanto, no monocultivo, o milho também reduziu sua produtividade comparando-se os dois anos (5720 kg ha<sup>-1</sup> em 2017 e 2911 kg ha<sup>-1</sup> em 2018). A principal causa para tais reduções foi a baixa pluviosidade (159 mm) observada em 2018, indicando que a limitada disponibilidade de água também pode agravar a competição intraespecífica. No entanto, a ausência de competição entre plantas no monocultivo de milho e o manejo de solo com planta de cobertura possibilitaram queda menos acentuada na produtividade de grãos, em condição de estresse hídrico. A redução acentuada na produção de grãos é indesejável, já que os grãos produzidos podem ser aproveitados no próprio sistema ou comercializados. Por esse motivo, estratégias que possam controlar a competição entre as plantas no consórcio podem ser empregadas.

Nem sempre a gramínea forrageira consorciada com o milho provoca redução na produtividade de grãos, o que foi confirmado nos estudos de Guarnieri et al. (2020), Torino et al. (2020) e Rodrigues et al. (2022). O período crítico de competição entre as gramíneas forrageiras e as culturas anuais, especialmente o milho, ocorre entre os estágios V<sub>5</sub> e V<sub>8</sub> (20 e 40 DAE). As plantas com metabolismo fotossintético C<sub>4</sub> apresentam elevada taxa de crescimento em condições de altas irradiâncias. O milho e as gramíneas forrageiras são plantas C<sub>4</sub> (Costa et al., 2016); entretanto, o milho pode apresentar maior eficiência fotossintética, o que significa maior taxa

assimilatória líquida. Isso permite que as plantas de milho tenham crescimento mais acelerado, o qual possibilita rápido incremento de área foliar, sobreposição de folhas e sombreamento das gramíneas forrageiras. Assim, a utilização de estratégias para controlar o crescimento do capim, tal como o uso de subdoses de herbicidas, se faz necessária quando o milho não apresenta adequado crescimento inicial, em solos de baixa fertilidade, baixa disponibilidade de água no período inicial de estabelecimento da lavoura e em casos de intenso ataque de pragas e doenças (Alvarenga et al., 2006).

O uso de subdoses de herbicidas ou a semeadura tardia dos pastos tem sido empregado para controlar o crescimento da forrageira, reduzir a competição entre plantas e evitar que ocorra queda acentuada na produção de grãos. Augusto et al. (2024) avaliaram os efeitos da aplicação de 200 mL ha<sup>-1</sup> (8 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo) do herbicida Nicosulfuron 20 DAE do milho e do período de semeadura sobre o crescimento do capim consorciado com o milho na safra. Os tratamentos foram: milho em monocultivo, milho e “Marandu” em semeadura simultânea (SS) com e sem herbicida, milho e “Marandu” semeado 20 DAE do milho e milho e “Marandu” em SS nas linhas e entrelinhas do milho com herbicida. A produtividade dos grãos não diferiu ( $P>0.05$ ) entre os tratamentos. A produção dos pastos não diferiu ( $P>0.05$ ) entre o primeiro e o último tratamentos, mas superou ( $P<0.05$ ) a produção da “Marandu” semeada 20 DAE do milho. A sobressemeadura dos pastos controlou o crescimento do capim que não provocou queda na produtividade dos grãos. No entanto, o estabelecimento de pastos em sobressemeadura pode retardar a entrada de animais na área momentos após a colheita dos grãos, devido à menor quantidade de massa de forragem disponível (Guarnieri et al., 2019; Santos et al., 2020). Com efeito, pode reduzir o período de aproveitamento das pastagens na entressafra (Vilela et al., 2011) e resultar em menos arrobas ou kg de leite produzidos ha<sup>-1</sup>.

Entretanto, capins com alta velocidade crescimento, quando semeados em defasagem, podem acumular massa de forragem suficiente para o pastejo, pouco tempo após a colheita da cultura anual. Garcia e Machado (2021) estudaram o efeito da semeadura defasada (7, 14 e 21 DAE do milho) da cultivar “BRS Zuri” na produtividade do milho. Os três tratamentos foram efetivos em controlar o crescimento do capim, não sendo verificada redução na produtividade de grãos, mas a semeadura aos 21 DAE resultou em baixa disponibilidade de massa de forragem (250 kg MS ha<sup>-1</sup>) aos 100 DAE. A semeadura defasada aumenta uma operação agrícola, mas se mostra eficiente

em controlar a queda de produtividade de grãos no consórcio, além de ser um método que pode reduzir uma ou mais operações agrícolas para aplicação de subdose de herbicidas. Por outro lado, o período de semeadura varia em função da gramínea, cultivar e também das condições climáticas do local, o que torna sua utilização desafiadora, requerendo mais estudos avaliando diferentes capins.

### 3. PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRITIVO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ESTABELECIDAS EM SUCESSÃO ÀS CULTURAS ANUAIS

As gramíneas forrageiras cultivadas em sucessão às culturas anuais são bastante utilizadas como plantas de cobertura nas fazendas especializadas em produção de grãos, mas oportunamente são empregadas na alimentação de bovinos durante o período seco, o que torna sua escolha desafiadora. Para atender às expectativas produtivas do sistema é preciso escolher forrageiras adaptadas as condições edafoclimáticas e capazes de promover equilibrado balanço entre produção e qualidade. Dias et al. (2021) avaliaram o desempenho das cultivares “Kennedy”, “Xaraés”, “Mombaça” e “BRS Tamani” em sucessão à soja no período de entressafra. A cultivar “Xaraés” apresentou elevada produtividade de MS de forragem nos cinco ciclos de pastejo avaliados, seguida da “Mombaça” e “BRS Tamani”. A cultivar “Kennedy” foi a menos produtiva a partir do terceiro ciclo de pastejo, alcançando menos de 900 kg de MS ha<sup>-1</sup> no último ciclo, enquanto as demais produziram em média 2643 kg MS ha<sup>-1</sup>. Oliveira et al. (2020) também registraram produtividade 28.2% menor para a “BRS Ipyporã” e “Kennedy” em relação às cultivares “Xaraés”, “BRS Paiaguás”, “BRS Piatã” e “Marandu”. Isso demonstra que a cultivar “Kennedy” apresenta menor capacidade de rebrote pós pastejo com o avanço da estação seca, o que compromete o desempenho animal, corroborando o menor ganho de peso (0.502 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) observado durante todo o período experimental (Dias et al., 2021).

Oliveira et al. (2020) ressaltaram o desempenho de gramíneas do gênero *Urochloa* spp., cultivares “BRS Piatã” e “BRS Paiaguás” avaliadas após a colheita dos grãos de sorgo, as quais apresentaram produtividade média de 4915 kg ha<sup>-1</sup>, 124 g proteína bruta (PB) kg<sup>-1</sup> MS e 604 g kg<sup>-1</sup> MS digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). No ensaio de Dias et al. (2021) a “BRS Tamani” apresentou a maior concentração de PB nos três primeiros ciclos de pastejo (144, 122 e 114 g kg<sup>-1</sup> MS), enquanto as cultivares “Xaraés” e “Mombaça” apresentaram valores intermediários (119, 107 e 98 g kg<sup>-1</sup> MS). Os melhores valores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN),

fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e DIVMS também foram verificados para a cultivar “BRS Tamani”, sendo em média 679, 379, 626 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente. Esse bom valor nutritivo, associado à boa produção de forragem dessa gramínea, refletiram em ganhos de peso de até 1.40 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no primeiro ciclo. Apesar de apresentarem desempenhos intermediários, as cultivares “Xaraés” e “Mombaça” também proporcionaram desempenho animal satisfatório, tendo atingido ganho de quase 1 kg animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no primeiro ciclo. Esses resultados indicam a capacidade que essas gramíneas têm de propiciar elevados ganhos de peso individuais, sem a suplementação proteica dos animais, no período seco, quase sempre com alta lotação sobre as pastagens.

A menor média [1.98 unidade animal (UA) ha<sup>-1</sup>, em que 1 UA = 450 kg de peso vivo (PV)] de lotação das pastagens foi obtida com a cultivar “Kennedy” (Dias et al., 2021) e que, ainda assim, superou em mais de duas vezes a média (0.940 UA ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) brasileira registrada em 2023 (ABIEC, 2024). Elevadas taxas de lotação também foram verificadas em pastos de “Xaraés”, “Kennedy”, “Mombaça” e “BRS Tamani” (2.66, 2.42, 3.20 e 2.52 animais ha<sup>-1</sup>) (Dias et al., 2020), “BRS Paiaguás” e “BRS Tamani” (2.71 e 2.25 UA ha<sup>-1</sup>) (Muniz et al., 2021) cultivados na estação seca, em sucessão à soja. Esses resultados mostram que o estabelecimento de pastos em sucessão à cultura anual permite intensificar a produção de bovinos na estação seca, onde geralmente, nos sistemas convencionais, os pastos apresentam baixa disponibilidade e valor nutritivo. Isso é possível em razão da contínua melhoria na fertilidade do solo quando se estabelece o cultivo de lavoura e pasto em uma mesma área (Ologunde; Bello; Busari, 2024).

Silva et al. (2020) avaliaram o desempenho da cultivar “Marandu” em sucessão ao milho na estação seca. A produção acumulada foi de 9650 kg MS ha<sup>-1</sup>, mostrando-se adequada ao pastejo de animais com 1.12 de relação folha:colmo, baixa proporção de material senescente (310 kg MS ha<sup>-1</sup>) e bom valor nutritivo 630 g FDN kg<sup>-1</sup> MS e 115 g PB kg<sup>-1</sup> MS. A taxa de lotação e o ganho de peso médio diário (GMD) dos animais foram de 2.80 UA ha<sup>-1</sup> e 0.640 kg dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse ensaio ocorreu em região com precipitação pluvial média anual de 2500 mm e temperatura de 25°C, o que favoreceu a produção dos pastos. No entanto, provavelmente a taxa de lotação limitou a oferta de forragem (4.5 kg MS kg<sup>-1</sup> PV) e o GMD dos animais para um nível de suplementação com [ureia, milho e farelo de soja (300 g kg<sup>-1</sup> PB)] de 2 g kg<sup>-1</sup> PV, enfatizando a importância de ajuste adequado da carga animal em função da disponibilidade de pasto. Provavelmente, as

condições climáticas foram fator essencial para que o desempenho dos animais não fosse menor, mas em regiões com baixa precipitação pluvial média anual e com chuvas mal distribuídas isso não ocorreria.

A cultivar “BRS Paiaguás” apresenta boa produtividade mesmo quando cultivada em sucessão à cultura anual, na estação seca. No estudo de Guarnieri et al. (2019) a produção de MS dessa forrageira foi de 5881 kg MS ha<sup>-1</sup> com 0.970 m de altura de dossel, 1.64 de relação folha:colmo, 84 g PB kg<sup>-1</sup> MS, 722 g FDN kg<sup>-1</sup> MS e 529 g DIVMS kg<sup>-1</sup> MS após a colheita do milho no mês de junho. Produtividade semelhante (5230 kg MS ha<sup>-1</sup>) foi relatada por Oliveira et al. (2020); entretanto, diferentes valores foram registrados para as demais variáveis 1.37 m de altura, 2.6, 125 g PB kg<sup>-1</sup> MS, 713 g FDN kg<sup>-1</sup> MS e 604 g DIVMS kg<sup>-1</sup> MS. No ensaio de Santos et al. (2020) a produtividade dessa gramínea variou de 5340 a 2750 kg MS ha<sup>-1</sup> com altura de 0.865 a 0.383 m, 1.90 a 0.990 de relação folha:colmo, 114 a 92.1 g PB kg<sup>-1</sup> MS, 722 a 676 g FDN kg<sup>-1</sup> MS e 461 a 563 g DIVMS kg<sup>-1</sup> MS em sucessão ao sorgo, na estação seca. Neste último estudo, a altura dos pastos e a relação folha:colmo tiveram valores menores em relação aos dois primeiros estudos, possivelmente devido à semeadura defasada. Os resultados de produtividade e valor nutritivo demonstram consistência dada a semelhança entre os estudos. Mesmo com a discrepância entre a concentração de PB do primeiro estudo com os demais, este não foi um limitante para o desempenho animal, pois a gramínea apresentou mais 70 g PB kg<sup>-1</sup> MS em todos os estudos, valor este mínimo para que a fibra seja degradada no rúmen, sem reduzir a ingestão de matéria seca (IMS) pelo animal (Van Soest, 1994). O bom valor nutritivo da “BRS Paiaguás” se explica pela sua capacidade de acumular folhas, mesmo na estação seca do ano, o que se confirma com os valores de relação folha:colmo.

A pastagem com bom valor nutritivo, com elevada produtividade de forragem e bem manejada é determinante para um desempenho satisfatório de animais na pecuária a pasto. Santos et al. (2023) avaliaram a produção de forragem, o valor nutritivo e o desempenho animal em pastagens de “BRS Paiaguás” cultivadas em sucessão ao sorgo, durante um ano, em solo de Cerrado de baixa fertilidade. Os pastos produziram mais na primavera (7348 kg MS ha<sup>-1</sup>), mas mantiveram boa produção no inverno (2950 kg MS ha<sup>-1</sup>), resultando em taxa de lotação média anual de 4.16 UA ha<sup>-1</sup>, proporcionando um GMD de 0.358 kg e produtividade de 94.3 kg carne ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A concentração média de PB foi de 76.7 e a DIVMS 535 g kg<sup>-1</sup> MS. A produtividade e o valor

nutritivo dos pastos favoreceram o desempenho animal, mostrando que mesmo em solo de baixa fertilidade a integração entre cultivos anual e perene possibilita alcançar bons níveis de produção animal. Isso ocorre em função de melhorias na fertilidade do solo (Ologunde; Bello; Busari, 2024) que favorecem a produção dos pastos, que em seu primeiro ano de estabelecimento, geralmente têm bom valor nutritivo e são mais tolerantes às condições desafiadoras do período seco (Dias et al., 2021). O GMD no inverno foi menor em relação ao outono ( $0.242$  vs.  $0.483$  kg dia<sup>-1</sup>), provavelmente em razão da baixa IMS, limitada pela concentração de PB ( $55.8$  g kg<sup>-1</sup> MS) e DIVMS ( $481$  g kg<sup>-1</sup> MS).

No inverno, os pastos geralmente têm baixa concentração de PB devido ao maior acúmulo de colmos em relação as folhas, resultado das condições climáticas nos trópicos. Com a redução da luminosidade, temperatura e umidade em tal estação, as plantas alongam suas hastes para aumentar a captação de luz (Euclides et al., 2019). No entanto, há redução na proporção de folhas, onde a maior parte dos componentes nitrogenados se concentram (Vargas Júnior et al., 2013 e Irving, 2015), e aumento da quantidade de frações fibrosas com menor potencial de degradação ruminal (Dias et al., 2021), em função dos efeitos provocados pela lignificação (Hartley; Harris, 1986; Jung; Fahey, 1983; Lawoko; Henriksson; Gellerstedt, 2005). Como os bovinos pastejam preferencialmente folhas, a redução desta estrutura vegetal prejudica o pastejo dos animais, resultando em menor tamanho de bocados, aumento da taxa de bocados e do tempo de pastejo e, principalmente redução da IMS (Bargo et al., 2003). Nessas condições, a capacidade dos animais converterem pasto em carne e/ou leite é baixa, o que impacta negativamente o sistema de produção. Dentre as estratégias empregadas para contornar esse problema, destaca-se a suplementação dos animais com alimentos proteicos. O uso de ureia como fonte de nitrogênio não proteico associado a uma fonte de proteína verdadeira, geralmente o farelo de soja, estimula o crescimento e a multiplicação microbiana, que a partir da degradação da fibra, aumenta a IMS pelo animal (Machado et al., 2011).

A disponibilidade de forragem é determinante para o sucesso da suplementação de bovinos, pois seu principal mecanismo é estimular o aumento do consumo de pasto (Machado et al., 2011). Muniz et al. (2022) não encontraram diferença em ganho de peso entre grupos de animais suplementados e não suplementados em pastos de “BRS Paiaguás” e “BRS Tamani” estabelecidos em sucessão à soja no período seco. A produção dos pastos variou de  $3325$  a  $1727$  kg MS ha<sup>-1</sup> com



média de 120 g PB kg<sup>-1</sup> e 651 g kg<sup>-1</sup> de DIVMS de maio a agosto. Enquanto a suplementação no primeiro ciclo de pastejo (maio) possibilitou aumento de 64.5% na taxa de lotação quando comparada com o grupo não suplementado sobre os pastos de “BRS Paiaguás”, aumento de 35.3% foi verificado para a cultivar “BRS Tamani”. Nesse período, a “BRS Paiaguás” produziu 33.5% a mais do que a “BRS Tamani”, aumentando-se a disponibilidade de pasto, o que explica a maior lotação verificada. Mesmo estimulados a consumir mais pasto, os animais suplementados *ad libitum* têm a capacidade de substituir parte do consumo de volumoso por suplemento, o que resulta em menor IMS de forragem (Bargo et al., 2003; Machado et al., 2011). O maior número de animais por ha<sup>-1</sup> aumenta a produção área<sup>-1</sup>, mas reduz o desempenho individual, o que se confirma com o mesmo GMD (0.705 kg dia<sup>-1</sup>) verificado para os dois grupos de animais. Por essa razão, a lotação sobre as pastagens deve ser ajustada a possibilitar equilíbrio entre ganhos individuais e área<sup>-1</sup>.

O uso dos nutrientes residuais da cultura anual pelas forrageiras é um dos principais benefício da integração para a pecuária a pasto (Dias et al., 2021). Geralmente, as culturas anuais têm maior exigência em fertilidade de solo quando comparadas às gramíneas forrageiras (Alvarenga et al., 2006), fazendo com que suas adubações sejam mais intensivas, o que promove melhorias contínuas na fertilidade do solo e possibilita o estabelecimento de gramíneas perenes, sem a necessidade de adubação inicial. Isso permite ao pecuarista reduzir custos durante o estabelecimento dos pastos, além de proporcionar a oferta de forragem em quantidade e qualidade para a alimentação animal (Dias et al., 2020, 2021; Muniz et al., 2021). Considerando-se a tendência complementar entre os mercados de grãos e carne, a produção de animais no período de entressafra permite diversificar o sistema, tornando-o menos sensível às flutuações de mercado (Carvalho et al., 2018). Além disso, os bovinos têm papel de controladores efetivos da estrutura do pasto (Muniz et al., 2022), removendo tecidos e facilitando a interceptação luminosa no dossel que estimula a produção de forragem com bom valor nutritivo. Esse controle tem impacto positivo em minimizar os efeitos negativos das operações agrícolas durante a semeadura da soja sobre a palhada de gramíneas forrageiras, principal motivação para a resistência de agricultores em utilizarem gramíneas mais produtivas como plantas de cobertura (Dias et al., 2020).

#### **4. CICLAGEM DE NUTRIENTES DA BIOMASSA DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS E SEUS EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO**

A agricultura vem continuamente sendo cobrada por setores mundiais: produzir de forma sustentável para atender a demanda do mercado de alimentos (Hunter et al., 2017). Se por um lado produzir de forma mais sustentável gera amplos benefícios, por outro, pode dificultar as operações em sistemas agrícolas, principalmente onde as condições climáticas não favorecem as culturas em determinados períodos do ano. Em regiões com menor precipitação pluvial o uso de forrageiras como plantas de cobertura para o solo tem contribuído para minimizar os efeitos negativos da baixa disponibilidade de água durante o desenvolvimento das culturas anuais (Silva et al., 2024a), para melhorar a fertilidade dos solos (Silva et al., 2024b) em função da reciclagem de nutrientes e do microclima, e como estratégia para reduzir a quantidade de fertilizantes nas lavouras (Dias et al., 2020, 2021; Muniz et al., 2021). Isso implica menor custo de produção e impactos ambientais, mas também, em alternativa viável nos momentos de limitada disponibilidade de fertilizantes, quando ocorre alta de seus preços no mercado.

Considerando-se a implantação do SPD em sucessão ao pastejo de animais, a escolha adequada da forrageira impacta o resultado de tal estratégia. Mesmo produzindo suficientemente e com bom valor nutritivo, é desejável que a forrageira tenha boa capacidade de rebrota no período em que os pastos são vedados para o acúmulo de biomassa a ser dessecada, período em que geralmente ocorre acentuada escassez dos fatores de crescimento para a planta. Muniz et al. (2021) cultivaram a soja na safra e 113 DAS (estágio fenológico R<sub>7</sub>) realizaram a semeadura dos pastos de “BRS Paiaguás” e “BRS Tamani”. Os animais foram removidos da área e os pastos reservados por 30 dias (agosto-setembro) para o rebrote. A cultivar “BRS Paiaguás” acumulou 13.8% a mais de biomassa em relação a “BRS Tamani” (4898 vs. 4302 kg MS ha<sup>-1</sup>). Dias et al. (2021) conduziram ensaio semelhante e as cultivares “Xaraés” e “BRS Tamani” acumularam cerca de 5000 kg MS ha<sup>-1</sup> de biomassa, enquanto a cultivar “Kennedy” acumulou cerca de 3000 kg MS ha<sup>-1</sup>. Silva et al. (2024a) fizeram pastejo simulado durante o período seco e estabeleceram período de 60 dias para o rebrote. A cultivar “Xaraés” acumulou a maior quantidade de biomassa 6779 kg MS ha<sup>-1</sup> seguida das cultivares “BRS Piatã” e “BRS Paiaguás” (5663 kg MS ha<sup>-1</sup>). Os resultados realçam a lenta rebrotação da cultivar “Kennedy” em relação às forrageiras de maior porte e de maior capacidade produtiva no final da estação seca; no entanto, indicam que ambas produzem quantidade de palhada que viabiliza o SPD.

A palhada promove cobertura do solo, mantendo-o mais úmido, o que torna as culturas anuais menos sensíveis aos eventos climáticos (Delandmeter et al., 2024), como os veranicos. No entanto, a formação de touceiras robustas e a quantidade excessiva de palhada podem dificultar as operações de SPD (Dias et al., 2020), problema que pode ser contornado pelo pastejo de animais (Dias et al., 2021). De modo geral, quanto mais biomassa disponível maior quantidade de nutrientes pode ser liberada e retornada ao solo por ação da decomposição. Para forrageiras mais produtivas, trabalhos relataram valores de 93.7, 10.6 e 83.7 (“BRS Paiaguás”); 90.6, 9.76 e 82.0 (“BRS Tamani”) (Muniz et al., 2021); 90.4, 14.6 e 90.1 (“Xaraés”); 75.7, 12.9 e 71.1 (“BRS Paiaguás” e “BRS Piatã”); 57.0, 11.8 e 61.3 (“Marandu”)  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente, na biomassa (Silva et al., 2024a). Para as menos produtivas, valores de 48.9, 9.32 e 50.1 (“Kennedy”); 61.0, 9.57 e 57.9 (“BRS Ipyporã”)  $\text{kg ha}^{-1}$  N, P e K, respectivamente, foram encontrados por Silva et al. (2024a). Entretanto, a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes da biomassa é determinada pela composição química inicial da planta de cobertura, pelas condições climáticas, com destaque para a precipitação pluvial e a temperatura.

Truong e Marschner (2018) descreveram a relação carbono (C):N como indicador da taxa de decomposição da biomassa. De acordo com esses autores, a faixa ideal para tal relação está entre 20 e 30, considerando-se que os valores abaixo e acima dessa faixa conduzem aos processos de mineralização e imobilização dos nutrientes, respectivamente. A mineralização consiste na conversão microbiana das formas orgânicas dos nutrientes em formas inorgânicas, solúveis e disponíveis para serem absorvidas pelas plantas. O inverso é a imobilização, conversão de formas inorgânicas às orgânicas indisponíveis para a absorção (Grzyb et al., 2020). A concentração de lignina e a relação lignina:N também podem ser utilizados como indicadores da taxa de decomposição da biomassa em que os baixos valores estão associados ao curto tempo de meia-vida e à rápida taxa de decomposição (Carvalho et al., 2012). O inverso, são as altas concentrações, condição verificada em estágios avançados de maturação das plantas, em que ocorre maior acúmulo de frações fibrosas, lignificação e espessamento de parede celular, o que torna a biomassa resistente à decomposição (Carvalho et al., 2011).

O equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização é que define o grau de cobertura do solo e a taxa de liberação dos nutrientes. A biomassa com relação C:N entre 20 e 30 geralmente apresenta taxa de decomposição e liberação de nutrientes mais sincronizada com as

fases de desenvolvimento da cultura cultivada sobre a palhada, mantendo boa cobertura de solo (Truong e Marschner, 2018). Entretanto, as gramíneas forrageiras tropicais amplamente utilizadas como plantas de cobertura em sistemas integrados quase sempre apresentam relação C:N superior a 30 (Dias et al., 2020; Muniz et al., 2021; Silva et al., 2024a). No entanto, isso é favorável em regiões mais quentes e úmidas, como ocorre no período chuvoso nas áreas de Cerrado do Brasil central, onde a temperatura e a umidade aceleraram o metabolismo microbiano e a taxa de decomposição da palhada (Costa et al., 2017). A decomposição mais lenta da palhada com alta relação C:N prolonga o tempo de cobertura do solo que se mantém mais úmido, tornando a cultura menos sensível ao déficit hídrico (Silva et al., 2024a), condição determinante para alcançar níveis de produtividade satisfatórios nessas regiões.

O conhecimento dos nutrientes equivalentes é importante para os programas de fertilização, uma vez que a quantidade de nutrientes liberada pela biomassa pode ser considerada para as recomendações de fertilização das culturas subsequentes. De modo geral, os fertilizantes têm alto custo, mas o uso contínuo de plantas de cobertura pode reduzir o custo de produção, aumentar a produtividade e a sustentabilidade do sistema. Em trabalhos recentes, a biomassa das cultivares “Xaraés” e “BRS Paiaguás” apresentaram quantidades médias de 181, 279 e 153; 204, 162 e 157 kg ha<sup>-1</sup> de equivalentes em fertilizantes ureia (U), superfosfato simples (SPS) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente (Dias et al., 2020; Muniz et al., 2021; Silva et al., 2024a). Considerando-se os percentuais médios de mineralização dos nutrientes da palhada de gramíneas tropicais registrados nesses trabalhos: 80.8, 85.3 e 95.1% (N, P e K), em 120 dias retornaram ao solo em média quantidades equivalentes a cerca de 156, 188 e 148 kg ha<sup>-1</sup> de U, SPS e KCl. Essas quantidades, quando convertidas em valores reais, representam aproximadamente R\$ 1285 ha<sup>-1</sup>, conforme preços de insumos praticados no estado de Minas Gerais (U: R\$ 3220 t<sup>-1</sup>; SPS: R\$ 2275 t<sup>-1</sup> e KCl: R\$ 2361 t<sup>-1</sup>) (Conab, 2024).

De acordo com Baptistella et al. (2020), o grande potencial das plantas de cobertura reside em suas raízes. A abundância de raízes em cabeleira dessas plantas pode explorar maior área de solo e absorver nutrientes, especialmente N e K das regiões mais profundas do solo disponibilizando-os para as culturas. Essas estruturas também exsudam uma série de compostos, tais como prótons, a enzima fosfatase alcalina e os ácidos orgânicos cítrico, oxálico e málico, os

quais aumentam a solubilidade do P na solução do solo e sua disponibilidade para a absorção das plantas.

O uso contínuo de plantas de cobertura resulta na formação de banco de reserva de nutrientes mineralizados que retornam ao solo, em incrementos na matéria orgânica (MO) (Silva et al., 2022) e em melhorias físicas (Lima et al., 2023), químicas (Costa et al., 2021) e microbiológicas do solo. Silva et al. (2024b) verificaram maior acúmulo de MO, C e atividade enzimática em solo onde a soja foi cultivada sobre a palhada das gramíneas “BRS Zuri” e “BRS Tamani”, comparado a soja semeada em solo descoberto. Como benefícios, relataram aumentos na taxa líquida de fotossíntese, na concentração de clorofila nas folhas e na quantidade de biomassa produzida pela leguminosa. A fração foliar dessa biomassa mais as plantas de cobertura, possibilitaram sombra o suficiente para reduzir em 10°C a temperatura da superfície do solo. Isso indica que promover a saúde do solo, otimiza o metabolismo da planta, possibilitando benefícios tanto para o ambiente quanto para o produtor que pode aumentar suas receitas em função da maior produção de grãos.

A maior produtividade de grãos de soja cultivada sobre a palhada de gramíneas tropicais em relação à palhada de milho ou sem palhada foi verificada em diversos trabalhos. Muniz et al. (2021) e Dias et al. (2020) relataram 10 e 16 sacas de grãos de soja ha<sup>-1</sup> a mais, quando a leguminosa foi cultivada sobre a palhada das gramíneas (“BRS Paiaguás” e “BRS Tamani”) e (“BRS Tamani”, Mombaça” e “Xaraés”) em relação à palhada de milho, respectivamente. Cerca de 23.5 sacas de grãos de soja ha<sup>-1</sup> foram produzidas a mais sobre a palhada das forrageiras “Marandu”, “Kennedy”, “BRS Piatã” e “BRS Ipyporã” em relação ao sistema sem plantas de cobertura, em período de safra, sob déficit hídrico (Silva et al., 2024a). Em sistema semelhante, Vilela et al. (2017) registraram produção de 13 sacas de grãos de soja ha<sup>-1</sup> a mais quando cultivada sobre a palhada das gramíneas “BRS Piatã” e “Kennedy”. Entretanto, Marchão et al. (2024) em extensa revisão de literatura, registraram produção de 11 sacas ha<sup>-1</sup> de soja a mais em 16 safras avaliadas. Considerando-se esta média (11 sacas ha<sup>-1</sup>) e o preço da saca de soja a R\$ 144.59 (Cepea, 2024), essa produtividade aumentaria em R\$ 1590.49 ha<sup>-1</sup> a receita do produtor, mostrando que o sistema integrado é uma alternativa de produção que possibilita intensificar a produção área<sup>-1</sup>, diversificar as atividades, incrementar as receitas e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os capins mais produtivos estabelecem-se adequadamente em consórcio com os cultivos anuais, sendo interessante alternativa para a formação de pastagens. Neste consórcio, as culturas anuais apresentam características agrônômicas adequadas, as quais possibilitam produtividade de grãos satisfatória, geralmente, sem queda de rendimento provocada por competição.

O uso de gramíneas com menor potencial de produção pode limitar a produção animal durante a entressafra. Tais forrageiras podem não apresentar produção de forragem balanceada ao longo da estação seca do ano.

As gramíneas forrageiras tropicais acumulam biomassa que possibilita o estabelecimento da soja em sistema de plantio direto na safra subsequente, mantendo boa cobertura de solo durante o desenvolvimento da leguminosa. Entretanto, a biomassa das forrageiras mais produtivas acumula maior quantidade de nutrientes com potencial de sofrer mineralização, retornar ao solo e contribuir para melhorar a sua fertilidade.

## REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação brasileira das indústrias exportadoras de carnes. 2023. Brazilian Beef Profile. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/en/publicacoes/beef-report-2024-brazilian-beef-profile/>>. Acesso em: 21 out. 2024.

ALVARENGA, R. C. et al. A cultura do milho na integração lavoura-pecuária. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais. Circular Técnica, v. 80, 2006.

AUGUSTO, J. G. et al. Integrated crop-livestock versus conventional systems: effects on the chemical and physical characteristics of an oxisol. *Grass and Forage Science*, v. 1, p. 1-11, 2024.

BAPTISTELLA, J. L. C. et al. *Urochloa* in tropical agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, 2020.

BARCELLOS, A. O. et al. Base conceitual, sistemas e benefícios da iLPF. In: BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Eds.). Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa. 1ª ed., p. 28, 2011.

BARGO, F. et al. Invited review: production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, v. 86, p. 1-42, 2003.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 243-249, 2006.

BHATTI, U. A. et al. Global production patterns: understanding the relationship between greenhouse gas emissions, agriculture greening and climate variability. *Environmental Research*, v. 245, 2024.

CARLOS, C. H. et al. Use of glyphosate in the management of *Panicum maximum* cv. BRS Zuri intercropped with maize. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 795–802, 2023.

CARVALHO, A. M. et al. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. *Crop and Pasture Science*, v. 63, p. 1075–1081, 2012.

CARVALHO, A. M. et al. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1200-1205, 2011.

CARVALHO, P. C. DE F. et al. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. *Journal of Animal Science*, v. 96, p. 3513–3525, 2018.

CEPEA. Centro de estudos avançados em economia aplicada. Indicador da soja Esalq/BM&FBOVESPA-PARANAGUÁ. 2024. Disponível em: <  
<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>>. Acesso em: 21 out. 2024.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Insumos Agropecuários. 2024. Disponível em: <  
<https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d=6983528-p=3&uf=MG&anoFinal=2024&ano=2024&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=LAY63&idGrupo=27>>. Acesso em: 21 out. 2024.

COSTA, N. R. et al. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 121, p. 31–49, 2021.

COSTA, R. G. F. et al. Production and nutritional characteristics of Pearl Millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the off-season. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 1712–1723, 2016.

COSTA, R. R. G. et al. Nutrients cycling and accumulation in Pearl Millet and Paiaguas palisadegrass biomass in different forage systems and sowing periods. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, p. 166–178, 2017.

DAMIAN, J. M. et al. Intensification and diversification of pasturelands in Brazil: patterns and driving factors in the soil carbon stocks. *Catena*, v. 220, 2023.

DELANDMETER, M. et al. Integrated crop and livestock systems increase both climate change adaptation and mitigation capacities. *Science of the Total Environment*, v. 912, 2024.

DIAS, M. B. D. C. et al. Protein and carbohydrate fractionation of *Urochloa* spp. and *Megathyrsus maximus* forages after intercropping with soybean in an integrated crop-livestock system. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2023.

DIAS, M. B. DE C. et al. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. *Journal of Agricultural Science*, v. 158, p. 206–217, 2020.

DIAS, M. B. DE C. et al. Cattle performance with *Brachiaria* and *Panicum maximum* forages in an integrated crop-livestock system. *African Journal of Range and Forage Science*, v. 39, p. 230–243, 2021.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, 2018.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. *Grass and Forage Science*, v. 74, p. 450–462, 2019.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Steer performance on *Panicum maximum* (cv. Mombaça) pastures under two grazing intensities. *Animal Production Science*, v. 56, p. 1849–1856, 2016.

FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.

GARCIA, R. A.; MACHADO, L. A. Z. Semeadura defasada de *Panicum maximum* (cv. BRS Zuri) para avaliar o consórcio com milho. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Mato Grosso do Sul. Circular Técnica v. 53, 2021.

GRZYB, A. et al. Environmental factors affecting the mineralization of crop residues. *Agronomy*, v. 10, p. 1-18, 2020.

GUARNIERI, A. et al. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, p. 1185–1198, 2019.

HARTLEY, R.; HARRIS, P. J. Linkage of p-coumaroyl and feruloyl groups to cell-wall polysaccharides of barley straw. *Carbohydrate Research*, v. 148, p. 71-85, 1986.

HUNTER, M. C. et al. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *BioScience*, v. 67, p. 386-391, 2017.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. In: ARIAS, P. et al. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland; p. 60, 2023.

IRVING, L. J. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. *Agriculture*, v. 5, p. 116-1134, 2015.



JUNG, H. G.; FAHEY, G. C. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: a review. *Journal of Animal Science*, v. 57, p. 206-219, 1983.

LAWOKO, M.; HENRIKSSON, G.; GELLERSTEDT, G. Structural differences between the lignin-carbohydrate complexes present in wood and in chemical pulps. *Biomacromolecules*, v. 6, p. 3467–3473, 2005.

LIMA, J. D. P. et al. Crop-livestock integration improves physical soil, agronomic and environmental aspects in soybean cultivation. *Plants*, v. 12, 2023.

MACHADO, P. A. S. et al. Parâmetros nutricionais e produtivos em bovinos de corte a pasto alimentados com diferentes quantidades de suplemento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 1303–1312, 2011.

MAPBIOMAS BRASIL. Condição de vigor das pastagens. 2023. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 05 fev. 2025.

MARCHÃO, R. L. et al. Integrated crop-livestock-forestry systems for improved soil health, environmental benefits, and sustainable production. In: MENDES, I. C.; CHERUBIN, M. R. (Eds.). *Soil health and sustainable agriculture in Brazil*. 1ª ed., v. 3, p. 19–61, 2024.

MELLO, C. E. L. et al. Glyphosate doses in the suppression of *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia intercropped with transgenic maize. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 892–899, 2023.

MELLO, C. E. L. et al. Nicossulfurom no manejo de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia consorciado com milho. *Caderno Pedagógico*, v. 21, p. e8253, 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (Mapa). Plano ABC+ - Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável. Brasília: Mapa, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/abc-portugues.pdf/view>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

MOREIRA, J. F. M. et al. Production and bromatological composition of cultivars of *Brachiaria brizantha* and Campo Grande stylo monocropped and intercropped under different planting methods. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, p. 317–327, 2015.

MUNIZ, M. P. et al. Production, forage quality and cattle performance in Paiaguas palisadegrass and Tamani grasses in different forms of animal supplementation in crop-livestock integration. *Australian Journal of Crop Science*, v. 16, p. 381–388, 2022.

MUNIZ, M. P. et al. Soybean yield in integrated crop-livestock system in comparison to soybean-maize succession system. *Journal of Agricultural Science*, v. 159, p. 188–198, 2021.

OLIVEIRA, S. et al. Performance of grain sorghum and forage of the genus *Brachiaria* in integrated agricultural production systems. *Agronomy*, v. 10, p. 1714, 2020.

- OLOGUNDE, O. H.; BELLO, S. K.; BUSARI, M. A. Integrated agricultural system: a dynamic concept for improving soil quality. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, p. 1–9, 2024.
- RODRIGUES, R. C. et al. Productive characteristics and economic analysis of tropical forage grasses cultivated under different sowing methods in intercropping production systems. *Australian Journal of Crop Science*, v. 16, p. 933–940, 2022.
- SANTOS, C. B. et al. Intercropping of sorghum with Paiaguas palisadegrass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, p. 1072–1080, 2020.
- SANTOS, C. B. et al. Production, quality of Paiaguas palisadegrass and cattle performance after sorghum intercropping in pasture recovery in an integrated crop-livestock system. *Australian Journal of Crop Science*, v. 17, p. 361–368, 2023.
- SANTOS, F. C. et al. Arranjo de plantas de *Braquiária* em consórcio com a cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais. Circular Técnica, v. 202, 2014.
- SARTO, M. V. M. et al. Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. *Agronomy Journal*, v. 113, p. 4900–4915, 2021.
- SILVA, F. S. et al. Herbage accumulation, nutritive value and beef cattle production on Marandu palisadegrass pastures in integrated systems. *Agroforestry Systems*, v. 94, p. 1891–1902, 2020.
- SILVA, J. A. G. et al. Efficiency of desiccation, decomposition and release of nutrients in the biomass of forage plants of the genus *Brachiaria* after intercropping with sorghum in integrated systems for soybean productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2024a.
- SILVA, J. A. G. et al. Integration crop-livestock system increases the sustainability of soybean cultivation through improved soil health and plant physiology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 359, 2024b.
- SILVA, J. F. DA et al. Soil organic matter and aggregate stability in soybean, maize and *Urochloa* production systems in a very clayey soil of the Brazilian savanna. *Agronomy*, v. 12, p. 1652, 2022.
- SOARES, D. DE A. et al. Integrated crop–livestock systems as a strategy for the sustainable production of corn and soybean grain in tropical sandy soils. *Agronomy*, v. 14, p. 2071, 2024.
- SOUSA, B. M. DE L. et al. Morphogenetic and structural characteristics of *Andropogon* grass submitted to different cutting heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 2141–2147, 2010.
- TESK, C. R. M. et al. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 2081–2091, 2020.

TORINO, A. B. et al. Agronomic performance of maize and *Brachiaria* grasses cultivated at monocropping and intercropping in a compacted Latossolo. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, p. 1533–1540, 2020.

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.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. New York, NY, USA: Comstock Publishing Associates, 1994.

VARGAS JÚNIOR, F. M. DE et al. Disponibilidade e valor nutritivo de gramíneas tropicais sob pastejo com ovinos. *Archivos de Zootecnia*, v. 62, p. 295–298, 2013.

VILELA, L. et al. “Boi safrinha” na integração lavoura pecuária no oeste baiano. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal. Circular Técnica, v. 35, 2017.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1127-1138, 2011.

# **PRODUTIVIDADE, VALOR NUTRITIVO E DINÂMICA DE DECOMPOSIÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS CONSORCIADAS COM O MILHO EM SISTEMAS INTEGRADOS COM A SOJA NO CERRADO**

## **1. INTRODUÇÃO**

Os sistemas integrados são tecnologias que vêm se destacando no mundo entre os principais modelos de produção agropecuária que possibilitam intensificar o uso da terra, combinando-se eficiência, rentabilidade e sustentabilidade. A integração lavoura-pecuária (ILP) é um exemplo de sistema integrado que explora o sinergismo entre diferentes componentes, agricultura e pecuária, em uma mesma área, de modo alternado, sucessivo ou consorciado (Ologunde; Bello; Busari, 2024). O uso da ILP em fazendas especializadas na produção de grãos é uma prática bem consolidada no Brasil. Estima-se que os sistemas integrados no Brasil ocupem cerca de 17.4 milhões de hectares (Polidoro et al., 2020). Na IPL, a forrageira serve como planta de cobertura para o solo, palhada para o sistema plantio direto (SPD) e como volumoso para alimentação animal na entressafra, alternativa que vem sendo explorada como estratégia para diversificar as fontes de renda, aproveitando-se do excedente forrageiro produzido em época que, geralmente, na região de Cerrado, as pastagens são pouco produtivas devido à baixa disponibilidade de água.

A cultura do milho (*Zea mays*) se destaca entre as opções para o consórcio com forrageiras, em razão de seu rápido crescimento e capacidade de competir com as gramíneas forrageiras após o estabelecimento, sem necessariamente reduzir a produção de grãos. Como no Brasil quase 80% da produção de milho ocorre na entressafra (Conab, 2024), o consórcio entre esta gramínea com forrageiras permite antecipar o estabelecimento de pastos, evitando-se a curta janela de plantio após a colheita dos grãos (Andrade et al., 2020; Vilela et al., 2011). O aproveitamento dos fertilizantes residuais da cultura anual está entre os principais benefícios do consórcio entre milho e forrageiras, sendo uma estratégia efetiva e econômica para a recuperação de áreas de pastagens em processo de degradação (Andrade et al., 2020). Como plantas de cobertura, as forrageiras retêm mais umidade no solo (Peterson; Deiss; Gaudin, 2020), condição favorável às regiões com histórico de longos períodos de estiagem. Seu sistema radicular é fonte de matéria orgânica e tem capacidade de absorver e disponibilizar para as plantas nutrientes das camadas subsuperficiais do solo (Baptistella et al., 2020). A palhada é reserva de nutrientes que, quando mineralizados, são disponibilizados às culturas com possibilidade de reduzir custos com adubações. O uso de

forrageiras aumenta a ciclagem de nutrientes e reduz a necessidade de fertilização química para as culturas subsequentes (Leal et al., 2024).

A possibilidade de utilização das plantas forrageiras do consórcio na alimentação animal no período de entressafra ou como pastagem perene levou à necessidade de avaliar forrageiras com boa aptidão e resiliência, tal como as cultivares de *Urochloa brizantha* spp. (Syn. *Brachiaria brizantha*) e *Megathyrsus maximum* spp. (Syn. *Panicum maximum*) (Dias et al., 2021; Leal et al., 2024). De acordo com Euclides et al. (2016), a inadequada nutrição animal é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produção de carne e leite nos trópicos em função da sazonalidade de produção das pastagens; entretanto, o uso de plantas melhoradas em sistemas integrados pode ajudar a minimizar esse problema. A escolha da planta deve ser baseada na sua capacidade em se adaptar as condições edafoclimáticas e aos objetivos do sistema de produção, minimizando a incompatibilidade das gramíneas com o ambiente local, uma das principais causas de degradação das pastagens (Dias-Filho, 2014).

Para torná-los mais sustentáveis e competitivos, os sistemas integrados vêm sendo desenvolvidos e ajustados às diversas condições edafoclimáticas do país. Em função disso, novos genótipos de gramíneas forrageiras vêm sendo selecionadas. A nova forrageira *Urochloa ruziziensis* cv. BRS Integra é uma planta destinada à produção de palhada em sistemas integrados. Rodrigues et al. (2023) ressaltaram a boa produtividade, alta relação folha:colmo, perfilhamento e valor nutritivo como características favoráveis dessa planta. Da mesma forma, Braga et al. (2024) realçaram a boa estrutura de dossel, a alta relação folha:colmo e o ganho de peso de bovinos alimentados com pastos da nova cultivar de *Andropogon gayanus* cv. BRS Sarandi, planta com baixa exigência em fertilidade de solo, adaptada às regiões com baixa pluviosidade e tolerante à acidez e aos altos níveis de alumínio no solo.

Os programas de melhoramento genético de gramíneas forrageiras da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vêm continuamente avaliando genótipos de diversos gêneros para uso em sistemas agropecuários. Essa iniciativa tem contribuído muito para o avanço da pecuária brasileira, uma vez que o lançamento de cultivares de diferentes gêneros e espécies tem contribuído para aumentar as opções de forrageiras para atender aos diversos sistemas de produção do país. Nesse processo, as avaliações de campo são fundamentais para gerar informações práticas acerca do potencial de produção, valor nutritivo e manejo dessas forrageiras seja em cultivo

“solteiro” ou consorciado com culturas anuais. O consórcio envolve o cultivo de plantas com características distintas; portanto, conhecer melhor essas diferenças permite a adoção de práticas mais assertivas pelo produtor. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a produtividade, o valor nutritivo e a dinâmica de decomposição de gramíneas forrageiras (*Urochloa* spp. e *Andropogon* spp.) estabelecidas em consórcio com o milho em sistemas integrados com a soja no Cerrado do Distrito Federal (DF).

Este estudo parte das hipóteses de que as gramíneas forrageiras estabelecem-se adequadamente no consórcio com o milho. Os genótipos diferem entre si quanto às características agronômicas, à produtividade e ao valor nutritivo. Supõe-se ainda que essas gramíneas produzam forragem em quantidade e qualidade adequadas para uso na alimentação animal e/ou como plantas de cobertura durante a entressafra. Também se espera que os genótipos apresentem diferenças na quantidade de biomassa acumulada e na dinâmica de decomposição dos nutrientes durante o cultivo da soja na safra no Cerrado, sem, no entanto, afetar significativamente as características agronômicas e a produtividade da cultura.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Descrição da área

Os ensaios foram conduzidos na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil, de agosto de 2022 a março de 2024, nas coordenadas 15°36'36.31'' S, 47°42'11.63'' O e altitude de 987 m. O clima da região, segundo Köppen e Geiger, é do tipo Cwa: subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Alvares et al., 2014). O solo da área experimental é tipicamente classificado como latossolo vermelho distrófico de textura argilosa de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). A caracterização física e química do solo foi realizada na profundidade de 0-20 cm, previamente à implantação do experimento, o qual apresentou a seguinte composição: argila, 507 g kg<sup>-1</sup>; areia, 142 g kg<sup>-1</sup>; silte, 351 g kg<sup>-1</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub>: 5.20; Ca: 1.97 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0.530 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0.050 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al + H: 4.80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K: 70 e S: 20 mg dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica (T; pH 7): 7.50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 35.7% e P (Mehlich-D): 1.05 mg dm<sup>-3</sup>; e MO: 32 g kg<sup>-1</sup>.

A área experimental foi inicialmente corrigida com 3 toneladas (t) ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 1.5 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, distribuídos a lanço e incorporados com grade, em agosto de 2022. Em outubro de 2022, o teor de P do solo foi corrigido, utilizando-se 600 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (SPS), segundo recomendações de Sousa; Lobato e Rein (2004). Foi registrada a série histórica da precipitação pluvial acumulada e das temperaturas média, máxima e mínima no período de 1974 a 2021 (Figura 1), assim como os valores de precipitação pluvial acumulada e temperatura (média, máxima e mínima) mensurados durante o período experimental (Figura 2).

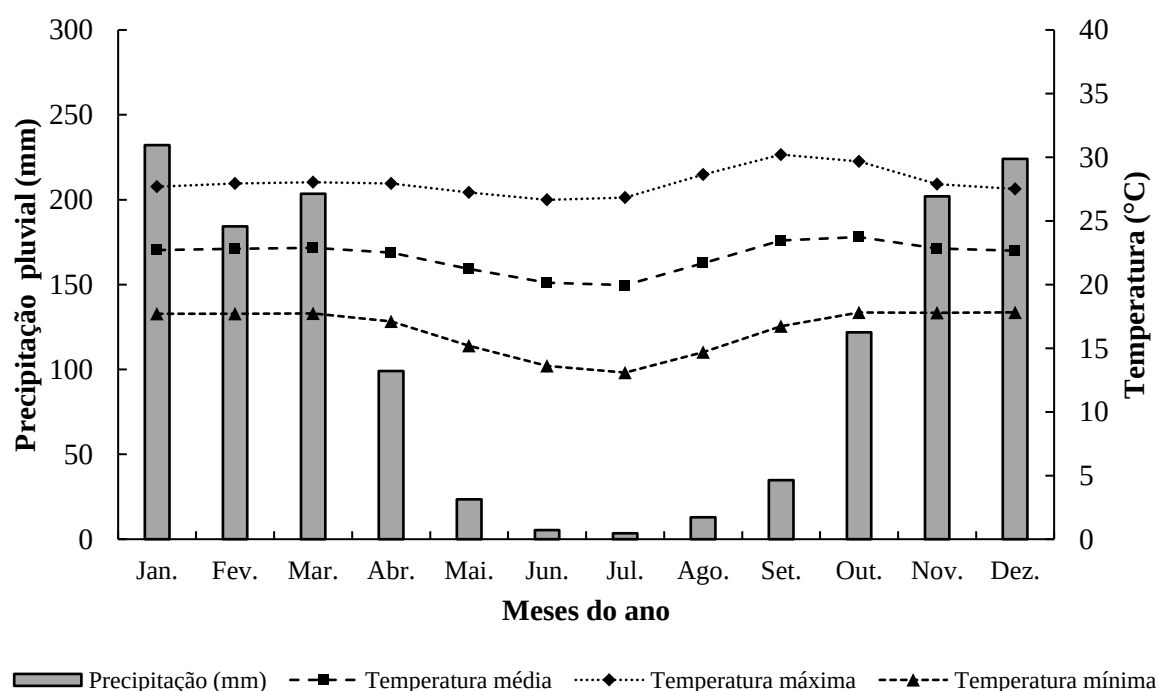


Figura 1. Série histórica da precipitação pluvial acumulada e das temperaturas média, máxima e mínima mensais registradas no período de 1974 a 2021 – Planaltina, DF

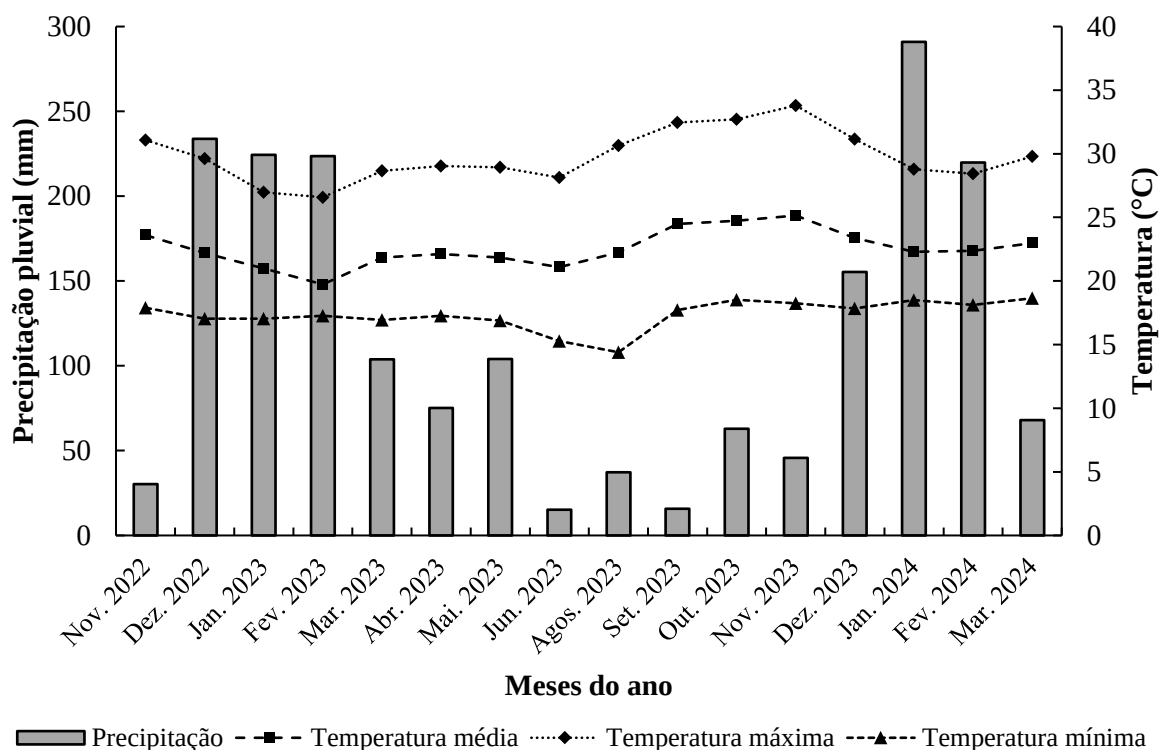


Figura 2. Precipitação pluvial acumulada e temperaturas média, máxima e mínima mensais registradas de novembro de 2022 a março de 2024 – Planaltina, DF

## 2.2 Desenho experimental

O experimento constituiu-se de quatro fases: milho consorciado com gramíneas forrageiras (safra 2022-2023); livre crescimento das gramíneas forrageiras; rebrote das gramíneas forrageiras; dessecação e cultivo da soja (safra 2023-2024) sobre as palhadas das gramíneas forrageiras desseçadas (Figura 3).



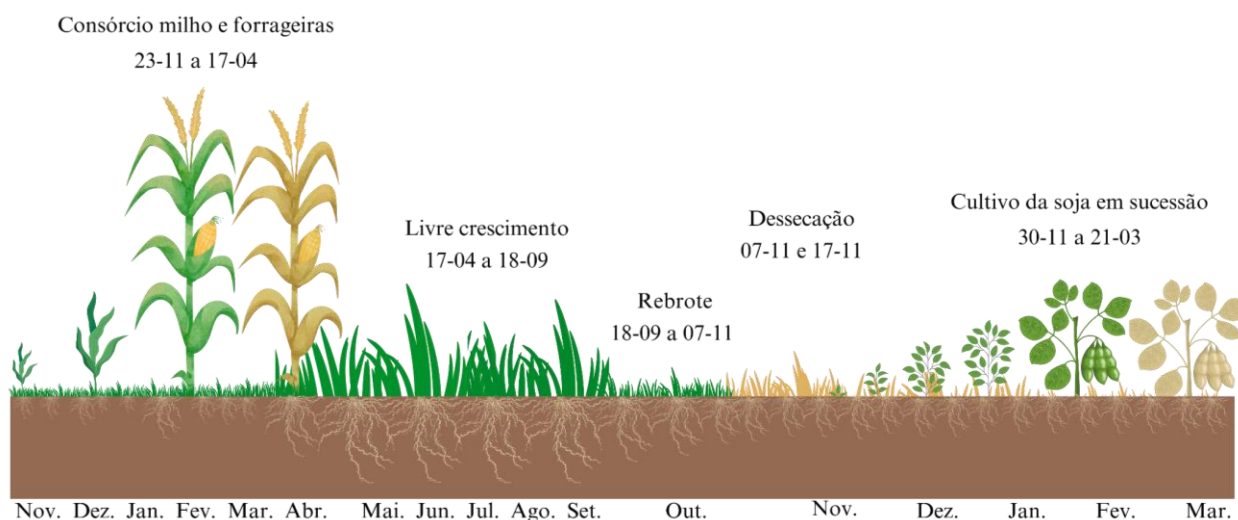


Figura 3. Diagrama dos experimentos: milho consorciado com gramíneas forrageiras, livre crescimento das gramíneas forrageiras, rebrote das gramíneas forrageiras, dessecação e cultivo da soja sobre as palhadas das gramíneas forrageiras dessecadas, em sucessão, em sistema de produção integrado

O primeiro ensaio, milho consorciado com gramíneas forrageiras, foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso (DBC), em arranjo parcelas subdivididas com quatro repetições por tratamento, sendo o gradiente de fertilidade do solo o fator bloqueado. As parcelas consistiram nos consórcios de milho com sete gramíneas forrageiras: *Urochloa decumbens*, genótipos “254-1” (Híbrido de *decumbens* – HD4), “R86” (Híbrido de *decumbens* – HD1) e a cultivar “Basilisk”; *U. ruziziensis*, cultivares “Kennedy” e “BRS Integra”; “1242-10” (Híbrido interespecífico de *U. brizantha* e *U. decumbens* e *U. ruziziensis* – H12) e *A. gayanus* cv. BRS Sarandi. As subparcelas corresponderam a três períodos de avaliação: abril, junho e setembro. O segundo ensaio, soja cultivada sobre as palhadas das gramíneas forrageiras em sucessão, foi conduzido em DBC com quatro repetições por tratamento e oito tratamentos: soja cultivada em sucessão sobre as palhadas das gramíneas forrageiras *U. decumbens*, genótipos “254-1”, “R86” e a cultivar “Basilisk”; *U. ruziziensis*, cultivares “Kennedy” e “BRS Integra”; *Urochloa* híbrida, genótipo “1242-10”, *A. gayanus* cv. BRS Sarandi e a soja cultivada sobre a área cultivada com o milho “solteiro” na safra anterior, que ficou em pousio, sem planta de cobertura na entressafra de 2022.

## 2.3 Estabelecimento das culturas

O milho variedade LG 36790 VTPRO3 especializado para a produção de grãos e as forrageiras foram semeados simultaneamente em 23 de novembro de 2022. As sementes do milho foram mecanicamente semeadas nas parcelas (5 x 2.50 m), em sulcos com 0.03 m de profundidade,

espaçamento de 0.50 m entre linhas e densidade de semeadura calculada para alcançar população de 66 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A adubação de plantio foi realizada com 400 kg  $\text{ha}^{-1}$  do fertilizante 4-30-16 aplicado no sulco de plantio. As gramíneas forrageiras foram semeadas manualmente e a lanço nas parcelas, utilizando-se 4 kg de sementes puras viáveis  $\text{ha}^{-1}$ . No estágio fenológico V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> do milho, a adubação de cobertura foi realizada com o fertilizante ureia aplicado na dose de 135 kg  $\text{ha}^{-1}$  de nitrogênio, conforme Spackman et al. (2019). Para o controle pós-emergência de plantas invasoras (*Digitaria sanguinalis*), os herbicidas atrazina e 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético) foram aplicados nas doses 1.5 e 0.5 L  $\text{ha}^{-1}$ , 15 dias após emergência do milho (DAE), e atrazina 2.5 L  $\text{ha}^{-1}$  (30 DAE). Inseticida foi aplicado para controle de insetos praga aos 25 e 36 DAE e, aos 42 DAE, foi realizada capina manual para o controle do capim *D. sanguinalis*. A colheita do milho grão foi realizada 139 DAE, em 17 de abril de 2023.

#### **2.4 Características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras**

As características agronômicas, altura de dossel e a densidade, a produtividade e o valor nutritivo das forrageiras foram avaliados nos meses de abril, junho e setembro de 2023, após 0, 58 e 154 dias da colheita do milho, respectivamente. As amostragens de cada período foram realizadas em diferentes áreas de cada parcela, selecionadas aleatoriamente. A altura do dossel forrageiro foi obtida de cinco pontos aleatórios dessas áreas, utilizando-se uma régua. A altura de referência foi definida a partir do nível do solo até o “horizonte foliar” no topo do dossel forrageiro. A densidade dos pastos foi avaliada e expressa em kg MS  $\text{ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ . Para a avaliação da produtividade das gramíneas, estas foram cortadas ao nível do solo, em área útil de 2.5 m<sup>2</sup>, dimensionada com o auxílio de um quadrado metálico com dimensões de 1 x 1 m, tomando-se como referência a largura das parcelas (2.5 m). Do material coletado e homogeneizado, subamostras de aproximadamente 300 g foram acondicionadas em sacos de papel e pré-secas em estufa de ventilação forçada a ar a 55°C por 72 h. Posteriormente, foram moídas em partículas de 1 mm em moinho de facas do tipo Willey e submetidas às análises de composição química-bromatológica.

#### **2.5 Análises de composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras**

As análises de composição química-bromatológica foram realizadas para determinar a matéria seca (MS) a 105°C (AOAC, 1996; método 930.15), cinzas (AOAC, 2006; método 942.05) e a matéria orgânica (MO) calculada como a perda de peso após a queima em mufla a 600°C. As

concentrações de proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2005; método 2001.11), fibra insolúvel em detergente neutro (FDNp) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDAp), baseadas no método sequencial de Van Soest; Robertson; Lewis, (1991), descontadas da contaminação por compostos nitrogenados (Detmann et al., 2021), utilizando-se o analisador de Fibras ANKOM 200 (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY). A concentração de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDA) foi determinada a partir do resíduo de FDA, utilizando-se o mesmo método para PB (Kjeldahl). Durante a determinação da FDN foi utilizada  $\alpha$ -amilase termoestável (Termamyl 120, Sigma–Aldrich, St. Louis, MO). A concentração de lignina foi determinada a partir do resíduo de FDA conforme Robertson e Van Soest (1981). As concentrações de hemiceluloses foram obtidas subtraindo-se a FDA da FDN e, a de celulose, a lignina da FDA. As concentrações de Ca foram determinadas pelo método oxidimétrico com permanganato de potássio e as concentrações de P em fotolorímetro de luz visível (Espectronic 20 Bausch-Lomb a 720 nm).

A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) e MO (DIVMO) foram analisadas conforme procedimento de dois estágios descrito por Tilley e Terry (1963), adaptado por Holden (1999), utilizando-se o simulador de rúmen Daisy<sup>II</sup> (ANKOM Technology Corporation). O líquido ruminal foi coletado de um bovino Holandês fistulado, 3 h após sua alimentação composta por silagem de milho, 2 kg de concentrado (milho moído e farelo de soja) e mistura mineral *ad libitum*. Os sacos foram incubados com o líquido ruminal misturado a uma solução tampão a 39°C por 48 h. Posteriormente, foram adicionados em cada jarro digestor 40 mL de HCl 6N e 8 g de pepsina, mantendo a incubação por mais 24 h. Os sacos removidos dos jarros foram lavados em água corrente, pré-secos a 55°C *overnight* (12 h), secos em estufa a 105°C por 2 h e pesados.

## 2.6 Avaliação da biomassa de cobertura e nutrientes totais

Para uniformização do dossel, as forrageiras foram roçadas em 18 de setembro de 2023, logo após a última avaliação de produtividade das gramíneas. As parcelas foram mantidas em crescimento livre (rebrotas) durante 50 dias, para acúmulo de biomassa para realizar o plantio direto da soja. Posteriormente, foram dessecadas em 07 de novembro de 2023 (25 dias antes do plantio da soja, safra 2023-2024) aplicando-se: 4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato [792.5 e 720 g ingrediente ativo (i. a.) kg<sup>-1</sup> N-phosphonomethyl glycine e equivalente ácido de glifosato] e 4 L ha<sup>-1</sup> glifosato e 0.5 L ha<sup>-1</sup> óleo mineral em 17 de novembro de 2023. As gramíneas forrageiras foram cortadas ao nível do

solo, em 27 de novembro de 2023, três dias antes da semeadura da soja (safra 2023-2024). Parte dessas amostras foi moída a 1 mm, em moinho do tipo Willey (AOAC, 1996; método 930.15), destinada para análises de composição química (material original) nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S), cálcio (Ca), FDNp, FDAp e lignina. O restante dessa mesma biomassa utilizada como planta de cobertura foi utilizado para avaliação da dinâmica de decomposição e ciclagem dos nutrientes.

A decomposição da biomassa de cobertura foi avaliada no material morto, dessecado e pré-seco em estufa a 55°C por 72 h, íntegro (não moído), acondicionado em sacos de náilon (*litter bags*) com dimensões de 20 x 20 cm e malha de 2 mm, de acordo com Thomas e Asakawa (1993). Para isso, nove *litter bags*, sendo três sacos para cada tempo de avaliação, contendo, cada um, 20 g de amostra da forrageira de cada parcela, foram colocados em contato direto com o solo. Após 40, 80 e 120 dias em contato com o solo, foram removidos três *litter bags* por parcela, por período, para quantificar a biomassa remanescente (decomposição) e determinar sua composição química. O último período de decomposição, 120 dias, propositalmente ocorreu próximo à colheita da soja, em 21 de março de 2024. A perda de biomassa foi calculada pela razão entre a quantidade final e inicial (20 g) nos *litter bags*, após pré-secagem da biomassa remanescente em estufa a 55°C por 72 h, e o percentual multiplicado à quantidade de biomassa inicialmente produzida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Após pesagem, os *litter bags* coletados em cada tempo de avaliação foram enviados ao laboratório, pré-secos em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C por 72 h. As amostras de biomassa foram moídas a 1 mm em moinho de facas do tipo Willey para determinação das concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S. A técnica de espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido foi utilizada para determinar as concentrações de P, K, Mg, S e Ca, enquanto as concentrações de nitrogênio, FDNp, FDAp e lignina foram determinadas conforme as metodologias citadas anteriormente. A relação lignina:nitrogênio foi calculada e a concentração de macronutrientes foi multiplicada à biomassa produzida e os resultados expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Os nutrientes equivalentes N, pentóxido difósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) da biomassa de cobertura das gramíneas forrageiras foram quantificados a partir da massa atômica dos elementos, considerando-se os fatores de conversão 2.29 e 1.20 para os respectivos elementos P e K e a concentração de N, P e K na biomassa, conforme Santos et al. (2014).

## **2.7 Estabelecimento, manejo e avaliação de características agronômicas da soja**

A soja, variedade BRS 7080 IPRO foi semeada em 30 de novembro de 2023 (safra 2023-2024) em linhas, considerando-se 0.50 m de espaçamento entre linhas. As sementes foram tratadas com 0.225 L 100<sup>-1</sup> kg do produto comercial Fortenza 600FS (600 g i.a. L<sup>-1</sup> ciantraniliprole), 0.070 L 100<sup>-1</sup> kg de CropStar (150 e 450 g i. a. L<sup>-1</sup> imidacloprido e tiodicarbe) e com o inoculante contendo a bactéria *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e SEMIA 5019 (Gelfix, 5 x 10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) na dose de 0.100 L 100<sup>-1</sup> kg de sementes do produto comercial. A adubação de semeadura consistiu na aplicação de 470 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante 00-20-20 (NPK) no sulco de plantio.

Fungicidas e herbicidas foram aplicados aos 35 dias após a semeadura (DAS) [0.500 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Fox (150 e 175 g de i. a. L<sup>-1</sup> fluoxastrobin e prothioconazole), 2 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato (792.5 e 720 g i. a. kg<sup>-1</sup> N-phosphonomethyl glycine e equivalente ácido de glifosato) e 0.750 L ha<sup>-1</sup> de Cleitodim (240 g i. a. L<sup>-1</sup> oxima ciclohexanodiona)], aos 49 DAS [0.400 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Orkestra (167 e 333 g de i. a. L<sup>-1</sup> pyraclostrobin e fluxapyroxad), 0.300 L ha<sup>-1</sup> de Terminus (200 e 250 g i. a. L<sup>-1</sup> acetamiprido e lambda-cialotrina) e 0.300 L ha<sup>-1</sup> de óleo mineral] e aos 77 DAS (0.400 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial Fox, 0.300 L ha<sup>-1</sup> de Terminus e 0.300 L ha<sup>-1</sup> de óleo mineral).

As características agronômicas da soja foram avaliadas 125 DAS ao longo de três metros em três linhas centrais de cada parcela (três plantas características de cada parcela). A estimativa da produtividade foi realizada pela colheita mecanizada de todas as plantas, ao longo dos cinco metros das linhas centrais da parcela, com colhedora Wintersteiger®. As avaliações consistiram da altura de plantas e de inserção da primeira vagem (distância média entre a superfície do solo e a inserção da primeira vagem); o número de vagens por planta (média do número de vagens por planta, calculado a partir da soma de todas as vagens com sementes); o peso de 1000 grãos e a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>), ambos corrigidos para 13% de umidade determinada no medidor de umidade G810 (GEHAKA AGRI).

## 2.8 Análises estatísticas

Os dados foram testados quanto ao modelo de distribuição de probabilidade e a homogeneidade de variâncias, utilizando-se os testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente. As variáveis que não atenderam aos dois critérios de distribuição de probabilidade de normal e homogeneidade de variância dos erros, foram transformadas com a função logarítmica. Foi

realizada a análise de variância (ANOVA) para testar os efeitos dos fatores isolados (gramíneas forrageiras e cortes) e a interação entre os fatores no desenho experimental em DBC em arranjo parcelas subdivididas. Testes de hipóteses (Duncan, Fisher e Tukey) foram utilizados para comparação de médias entre gramíneas e contrastes ortogonais ajustados para comparação de médias entre cortes em cada variável, respeitando-se a significância da ANOVA na interação ou no efeito principal (isolado) e admitindo probabilidade erro tipo I  $\alpha = 0.05$ .

Para descrever a decomposição da biomassa de cobertura e a quantidade de nutrientes, os dados foram ajustados ao modelo exponencial ( $y = ae^{kx}$ ) (Wieder e Lang, 1982), em que  $y$  é a quantidade de biomassa remanescente no tempo  $x$ ,  $a$  é a quantidade de biomassa pré-seca no tempo zero,  $k$  a constante de decomposição da biomassa seca e  $x$  é o tempo em dias. Tal modelo foi linearizado, aplicando-se a transformação logarítmica ( $\log y = \log a + \log e kx$ ), considerando-se que o  $\log e$  equivale a aproximadamente 0.4343. A ANOVA foi aplicada para avaliar as equações estimadas, testando-se a homogeneidade dos dados e a significância dos coeficientes de regressão ( $0.4343k$ ) e linear ( $\log a$ ). O tempo de meia-vida ( $t/2$ ), número de dias requerido para que 50% da biomassa residual aparente seja completamente mineralizada a  $\text{CO}_2$ , foi calculado conforme Paul e Clark (1989), aplicando-se a equação  $t/2 = \frac{\ln(0.5)}{k}$ , em que  $\ln(0.5)$  equivale a aproximadamente 0.693 e  $k$  é a constante de decomposição da biomassa seca.

Os dados de nutrientes totais, equivalente fertilizantes, características agronômicas e produtividade da soja foram submetidos a ANOVA, no DBC, e as médias comparadas por testes de hipóteses (Duncan e Tukey), admitindo-se erro tipo I  $\alpha = 0.05$ . As análises estatísticas foram realizadas no software R Core Team (2024).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras

A produtividade média de grãos de milho foi de  $8464 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 1). Os dados de características agronômicas e produtividade de gramíneas forrageiras foram transformados com a função logarítmica. Houve interação significativa ( $P < 0.05$ ) entre gramíneas forrageiras e cortes para as variáveis de produtividade e características agronômicas (Tabela 2).

Tabela 1. Produtividade média de grãos de milho do híbrido LG 36790 VTPRO3 em cultivo solteiro ou consorciado em primeira safra com gramíneas forrageiras - Planaltina, DF, 2022/23

| Consórcio                                     | Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86 e milho      | 8433                                 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1 e milho    | 10117                                |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra e milho | 9824                                 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi e milho     | 8832                                 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy e milho     | 7498                                 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk e milho      | 7335                                 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10 e milho    | 8624                                 |
| Milho monocultivo (testemunha)                | 9423                                 |
| EPM                                           | 406                                  |

EPM: erro padrão da média. Produtividade corrigida para 13% de umidade

Tabela 2. Altura, produtividade e densidade de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra nos diferentes cortes abril, junho e setembro - Planaltina, DF, 2022/23

| Forrageira                                               | Corte    |           |          |
|----------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|
|                                                          | Abril    | Junho     | Setembro |
| <b>Altura de planta (m)</b>                              |          |           |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86                         | 0.961bA  | 0.600bB   | 0.592aB  |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1                       | 0.715cA  | 0.589bcB  | 0.574aB  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra                    | 0.953bA  | 0.520bcdB | 0.427bC  |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi                        | 1.61aA   | 0.853aB   | 0.670aC  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy                        | 0.901bcA | 0.473cdB  | 0.423bB  |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk                         | 0.888bcA | 0.624bB   | 0.593aB  |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10                       | 0.715cA  | 0.448dB   | 0.390bB  |
| EPM                                                      |          | 3.14      |          |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)                     |          | <0.001    |          |
| <b>Produtividade (kg MS ha<sup>-1</sup>)</b>             |          |           |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86                         | 2750abB  | 3646aB    | 5884abA  |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1                       | 2862abB  | 4750aA    | 6224abA  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra                    | 5500aA   | 4425aA    | 2600cB   |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi                        | 3017abA  | 3654abA   | 3354bcA  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy                        | 3740aA   | 3739aA    | 2748cA   |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk                         | 3376aB   | 5754aA    | 6783aA   |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10                       | 1617bB   | 2031bAB   | 2791cA   |
| EPM                                                      |          | 208       |          |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)                     |          | <0.001    |          |
| <b>Densidade (kg MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)</b> |          |           |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86                         | 30.9abcC | 67.3abcB  | 107abA   |

|                                       |          |         |          |
|---------------------------------------|----------|---------|----------|
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 32.2abcB | 87.6aA  | 118abA   |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 63.5aB   | 95.8aA  | 66.4bcAB |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 19.1cB   | 45.3cA  | 53.2cA   |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 43.1abB  | 85.1abA | 71.9abcA |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 41.6abB  | 101aA   | 124aA    |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 24.4bcC  | 49.1bcB | 77.5abcA |
| EPM                                   |          | 3.91    |          |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)  |          | 0.007   |          |

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelos testes Tukey ( $P < 0.05$ ) e Fisher ( $P < 0.05$ ), respectivamente. As médias entre cortes foram comparadas por contrastes ortogonais e forrageira pelo teste Tukey. EPM: erro padrão da média e *P*-valor: valor de probabilidade para a interação entre forrageira e corte

A cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior altura de dossel nos cortes realizados nos meses de abril e junho ( $P < 0.05$ ). Em abril, os genótipos “1242-10” e “254-1” tiveram alturas semelhantes entre si e menores em relação às forrageiras “BRS Sarandi”, “R86” e “BRS Integra”. Em junho, o genótipo “1242-10” e a cultivar “Kennedy” apresentaram altura de dossel semelhante ( $P > 0.05$ ), mas 50.1% menor em relação às gramíneas “BRS Sarandi”, “Basilisk” e “R86” (0.461 vs. 0.692 m). Entretanto, em setembro as menores alturas foram verificadas para as cultivares “BRS Integra”, “Kennedy” e o genótipo “1242-10” quando comparadas a outras forrageiras que não diferiram entre si (0.413 vs. 0.607 m). Todas as gramíneas forrageiras avaliadas tiveram maior altura de dossel em abril em relação aos outros cortes que foram semelhantes, com exceção das cultivares “BRS Integra” e “BRS Sarandi” que reduziram de forma linear a altura de dossel ( $P < 0.05$ ).

A cultivar (“Basilisk”) e os genótipos (“254-1 e “R86”) de *U. decumbens* se destacaram entre as mais produtivas nos três cortes avaliados. As cultivares de *U. ruziziensis* e a “BRS Sarandi” produziram de forma semelhante às *U. decumbens* nos dois primeiros cortes; entretanto, as *U. ruziziensis* produziram menos ( $P < 0.05$ ) no último corte. O genótipo “1242-10” se manteve no grupo das forrageiras menos produtivas em todos os cortes. Em geral, as gramíneas forrageiras mantiveram ou aumentaram a produtividade durante o período avaliado, com exceção da cultivar “BRS Integra” que reduziu a produtividade em 52.3% no corte realizado em setembro em relação aos outros cortes. A cultivar “Basilisk” foi uma das mais produtivas, tendo aumentado sua produtividade em 85.6% em junho e setembro em relação a abril ( $P < 0.05$ ).

Maiores densidades de pastos foram verificadas para as cultivares “BRS Integra”, “Kennedy” e “Basilisk” em relação à “BRS Sarandi” nos dois primeiros cortes ( $P < 0.05$ ).



Entretanto, no terceiro corte a densidade dos pastos de “BRS Integra”, “Kennedy” e “1242-10” foram semelhantes ( $P>0.05$ ) e 61.3% menor em relação à “R86”, “254-1” e “Basilisk” (71.9 vs. 116 kg MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>). Das forrageiras avaliadas, apenas a cultivar “BRS Integra” não apresentou aumento de densidade no corte realizado no mês de setembro em relação ao corte realizado em abril.

### 3.2 Composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras

Os dados de NIDA foram transformados com a função logarítmica. Os demais dados de composição química apresentaram distribuição de probabilidade normal e homogeneidade de variâncias. Houve interação significativa ( $P<0.05$ ) entre gramíneas forrageiras e cortes para as variáveis PB, FDNp, FDAp e celulose (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações de PB, FDNp, FDAp e celulose de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra nos diferentes cortes abril, junho e setembro - Planaltina, DF, 2022/2023

| Forrageira                            | Corte   |          |          |
|---------------------------------------|---------|----------|----------|
|                                       | Abril   | Junho    | Setembro |
| <b>PB (g kg<sup>-1</sup> MS)</b>      |         |          |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 92.7bB  | 107abB   | 124aA    |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 95.8bB  | 94.1abB  | 111aA    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 98.4bB  | 83.4bcC  | 118aA    |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 58.4cA  | 67.4cA   | 65.3bA   |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 111abA  | 90.2abcB | 113aA    |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 106abAB | 92.4abcB | 117aA    |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 125aA   | 111aA    | 111aA    |
| EPM                                   |         | 2.36     |          |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)  |         | <0.001   |          |
| <b>FDNp (g kg<sup>-1</sup> MS)</b>    |         |          |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 614bA   | 575bcB   | 530bC    |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 607bA   | 596bcA   | 534bB    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 588bA   | 611bA    | 535bB    |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 701aA   | 678aAB   | 649aB    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 568bcA  | 602bA    | 576bA    |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 601bA   | 604bA    | 549bB    |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 521cA   | 537cA    | 524bA    |
| EPM                                   |         | 6.11     |          |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)  |         | 0.018    |          |
| <b>FDAP (g kg<sup>-1</sup> MS)</b>    |         |          |          |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 340bA   | 303bcB   | 264cB    |

|                                        |        |        |        |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1     | 334bA  | 321bA  | 269bB  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra  | 313bA  | 343abA | 277bB  |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi      | 403aA  | 379aAB | 350aB  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy      | 298bcA | 330abA | 307abA |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk       | 324bA  | 324bA  | 267bB  |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10     | 261cA  | 260cA  | 258bA  |
| EPM                                    |        | 5.13   |        |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)   |        | 0.011  |        |
| <b>Celulose (g kg<sup>-1</sup> MS)</b> |        |        |        |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86       | 296bA  | 263bcB | 231bC  |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1     | 290bA  | 276bA  | 236bB  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra  | 269bcB | 298abA | 245bC  |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi      | 350aA  | 332aAB | 317aB  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy      | 260bcB | 284bA  | 262bAB |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk       | 285bA  | 279bA  | 237bB  |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10     | 235cA  | 234cA  | 231bA  |
| EPM                                    |        | 4.15   |        |
| <i>P</i> -valor (forrageira x corte)   |        | 0.001  |        |

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelos testes Tukey ( $P < 0.05$ ) e Fisher ( $P < 0.05$ ), respectivamente. As médias entre cortes foram comparadas por contrastes ortogonais e forrageiras pelo teste Tukey. EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDNp: fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteína; FDAP: fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para proteína e *P*-valor: valor de probabilidade para a interação entre forrageira e corte

A concentração de PB do genótipo “1242-10” foi superior ( $P < 0.05$ ) a todas as outras forrageiras com exceção da “Kennedy” e “Basilisk”, no primeiro corte (abril). No mês de junho, a concentração de PB não variou entre os genótipos “R86”, “254-1” e “1242-10” (104 g kg<sup>-1</sup> MS); entretanto, superou em 54.3% o menor valor encontrado para a forrageira “BRS Sarandi” (67.4 g kg<sup>-1</sup> MS). Não foram verificadas diferenças para PB entre as forrageiras no último corte ( $P > 0.05$ ), exceto para a “BRS Sarandi” que teve a menor concentração desse nutriente (116 vs. 65.3 g kg<sup>-1</sup> MS). A cultivar “BRS Sarandi” e o genótipo “1242-10” mantiveram as mesmas concentrações de PB do segundo para o terceiro cortes, enquanto as outras forrageiras aumentaram essas concentrações.

Em relação às frações fibrosas, a cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior concentração de FDNp em todos os cortes avaliados ( $P < 0.05$ ). Com exceção da cultivar “Kennedy”, a menor concentração de FDNp e FDAP foi verificada para o genótipo “1242-10” entre as forrageiras avaliadas no corte realizado em abril. Em junho, a forrageira “1242-10” também apresentou a menor concentração de FDAP em relação às forrageiras avaliadas, exceto a “R86”. Nesse mesmo corte, entre as forrageiras do gênero *Urochloa* spp., apenas a “BRS Integra”, “Kennedy” e

“Basilisk” diferiram ( $P < 0.05$ ) do genótipo “1242-10” quanto às concentrações de FDNp, as quais tiveram valores superiores (606 vs. 537 g kg<sup>-1</sup> MS). A cultivar “BRS Sarandi” apresentou as maiores concentrações de FDNp e FDAp em relação a outras forrageiras no último corte, não diferindo apenas da cultivar “Kennedy” para FDAp ( $P > 0.05$ ). Em geral, os valores de FDNp e FDAp das forrageiras foram menores no terceiro corte em relação ao primeiro, excetuando-se as cultivares “Kennedy” e “Basilisk” que não modificaram esses valores ( $P > 0.05$ ).

Quanto à celulose, a cultivar “BRS Sarandi” apresentou as maiores concentrações em relação a outras forrageiras em abril e setembro ( $P < 0.05$ ), sendo semelhante à cultivar “BRS Integra” no corte realizado em junho. As concentrações de celulose na forrageira “1242-10” foram inferiores as verificadas para o genótipo “254-1” e às cultivares “BRS Sarandi” e “Basilisk” nos dois primeiros cortes (235 vs. 302 g kg<sup>-1</sup> MS). Entretanto, no último corte (setembro), todas as forrageiras do gênero *Urochloa* spp. tiveram concentrações semelhantes de celulose ( $P > 0.05$ ). Entre o primeiro e o terceiro cortes, apenas a cultivar “Kennedy” e o genótipo “1242-10” mantiveram as concentrações de celulose, sendo verificado aumentos para as demais forrageiras no terceiro corte.

Não houve interação significativa ( $P > 0.05$ ) entre as forrageiras e os cortes para as variáveis lignina, hemiceluloses, P, NIDA e Ca (Tabela 4). Quanto aos efeitos principais, todas essas variáveis apresentaram efeito significativo para forrageiras e cortes, com exceção da variável Ca que não apresentou efeito significativo para cortes ( $P > 0.05$ ).

Tabela 4. Concentrações de lignina, hemiceluloses, fósforo, NIDA e cálcio em gramíneas forrageiras consorciadas com o milho em primeira safra por corte abril, junho e setembro – Planaltina, DF, 2022/23

| Forrageira                            | Lignina <sup>1</sup>  | Hemiceluloses <sup>2</sup> | Fósforo <sup>1</sup> | *NIDA <sup>2</sup> | Cálcio <sup>1</sup> |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
|                                       | g kg <sup>-1</sup> MS |                            |                      |                    |                     |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 35.5a                 | 287bc                      | 0.911cd              | 74.4b              | 4.50b               |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 40.4a                 | 285bc                      | 0.870d               | 86.2b              | 5.32b               |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 40.2a                 | 281c                       | 1.14ab               | 82.2b              | 6.80a               |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 43.7a                 | 314a                       | 0.806d               | 156a               | 4.77b               |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 36.3a                 | 286bc                      | 1.15ab               | 98.4b              | 6.91a               |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 37.2a                 | 296b                       | 1.03bc               | 78.8b              | 4.55b               |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 25.2b                 | 290bc                      | 1.23a                | 78.7b              | 6.29a               |
| Contrastes/cortes                     | Lignina               | Hemiceluloses              | Fósforo              | NIDA               | -                   |
|                                       | g kg <sup>-1</sup> MS |                            |                      |                    |                     |

|                              |        |        |        |        |        |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Abril</b>                 | 40.3a  | 298a   | 1.48a  | 105a   | -      |
| <b>Junho</b>                 | 40.4a  | 291b   | 0.936b | 96.9a  | -      |
| <b>Setembro</b>              | 30.1b  | 285b   | 0.649c | 78.4b  | -      |
| EPM                          | 1.55   | 1.71   | 0.046  | 4.32   | 0.144  |
| <i>P</i> -valor (forrageira) | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| <i>P</i> -valor (corte)      | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.817  |

Médias seguidas de letras distintas diferem pelos testes Duncan<sup>1</sup> e Tukey<sup>2</sup> ( $P < 0.05$ ). As médias entre cortes foram comparadas por contrastes ortogonais Fisher ( $P < 0.05$ ). EPM: erro padrão da média; \*NIDA: nitrogênio insolúvel em detergente ácido ( $\text{g N kg}^{-1}$  proteína bruta); MS: matéria seca e *P*-valor: valor de probabilidade para os efeitos principais forrageira e corte

A cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior concentração de hemiceluloses entre as forrageiras avaliadas ( $P < 0.05$ ). No efeito principal cortes, as concentrações desses carboidratos fibrosos foram maiores no primeiro corte (abril) em relação aos demais (298 vs. 288  $\text{g kg}^{-1}$  MS). Em relação à lignina, o menor valor ( $P < 0.05$ ) foi verificado para o genótipo “1242-10” em comparação a outras forrageiras que tiveram concentrações semelhantes desse composto (25.2 vs. 38.8  $\text{g kg}^{-1}$  MS). A concentração de lignina no terceiro corte (setembro) foi menor em relação aos outros cortes ( $P < 0.05$ ). Quanto ao P, verificou-se que as forrageiras “1242-10”, “Kennedy” e “BRS Integra” apresentaram maiores concentrações ( $P < 0.05$ ) em relação às gramíneas “R86”, “254-1” e “BRS Sarandi” (1.17 vs. 0.862  $\text{g kg}^{-1}$  MS). Entretanto, as concentrações desse mineral reduziram linearmente com o tempo quando comparadas no efeito principal cortes. Para a variável NIDA, a cultivar “BRS Sarandi” foi superior em 87.7% em relação a outras forrageiras que não diferiram entre si ( $P > 0.05$ ). Por outro lado, a concentração de NIDA nas forrageiras foi maior no primeiro e segundo cortes comparado com o terceiro. As concentrações de Ca foram semelhantes entre as forrageiras “1242-10”, “Kennedy” e “BRS Integra” ( $P > 0.05$ ), as quais superaram as concentrações verificadas para as outras forrageiras; no entanto, estas não diferiram entre si.

Não houve interação significativa ( $P > 0.05$ ) entre as forrageiras e os cortes para as variáveis DIVMS e DIVMO (Tabela 5). Quanto aos efeitos principais, essas variáveis apresentaram efeito significativo para forrageiras ( $P < 0.05$ ) e não significativo para cortes ( $P > 0.05$ ).

Tabela 5. Digestibilidade *in vitro* da MS e da MO de gramíneas forrageiras estabelecidas em consórcio com o milho em primeira safra – Planaltina, DF, 2022/2023

| Forrageira                         | DIVMS                 | DIVMO |
|------------------------------------|-----------------------|-------|
|                                    | g $\text{kg}^{-1}$ MS |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86   | 623b                  | 627b  |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1 | 611b                  | 615b  |

|                                       |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 621b   | 626b   |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 531c   | 542c   |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 610b   | 616b   |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 623b   | 628b   |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 674a   | 677a   |
| EPM                                   | 6.12   | 5.91   |
| <i>P</i> -valor (forrageira)          | <0.001 | <0.001 |

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey ( $P < 0.05$ ). EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; DIVMS e DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria seca e matéria orgânica e *P*-valor: valor de probabilidade para o efeito principal forrageira

A digestibilidade potencial da MO e da MS tiveram comportamento semelhante entre as gramíneas forrageiras avaliadas. O genótipo “1242-10” apresentou os maiores coeficientes de digestibilidade, enquanto para a “BRS Sarandi” os menores valores foram observados ( $P < 0.05$ ). As demais cultivares apresentaram valores iguais e intermediários ( $P > 0.05$ ).

### 3.3 Avaliação da biomassa de cobertura e ciclagem de nutrientes

Os dados de decomposição da biomassa, N, P e Mg foram transformados com a função logarítmica. O acúmulo de biomassa inicial diferiu ( $P < 0.05$ ) entre as gramíneas forrageiras (Tabela 6). Os capins “R86”, “254-1”, “BRS Sarandi” e “Basilisk” produziram 95.9% a mais de biomassa inicial em relação as forrageiras “Kennedy” e “1242-10” (3184 vs. 1625 kg ha<sup>-1</sup>); entretanto, as cultivares de *U. ruziziensis* (“Kennedy” e “BRS Integra”) produziram quantidades semelhantes ( $P > 0.05$ ) de biomassa inicial (2019 kg ha<sup>-1</sup>). A concentração inicial de nutrientes na biomassa diferiu ( $P < 0.05$ ) apenas para a variável N. A cultivar “BRS Sarandi” teve a menor concentração desse nutriente em relação a outras forrageiras avaliadas (11.8 vs. 19.1 g kg<sup>-1</sup> MS). Com exceção do capim “1242-10” que se destacou com a maior concentração de N na biomassa inicial em relação às cultivares “Basilisk”, “Kennedy”, “BRS Sarandi” e “BRS Integra” (21.5 vs. 16.5 g kg<sup>-1</sup> MS), as demais forrageiras do gênero *Urochloa* spp. tiveram concentrações semelhantes ( $P > 0.05$ ). A relação lignina:nitrogênio no tempo zero foi em média 1.76, sem diferença significativa entre os sistemas de cultivo ( $P > 0.05$ ).

Tabela 6. Quantidade inicial de biomassa seca, concentração inicial de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e relação lignina:nitrogênio na palhada de gramíneas forrageiras provenientes do consórcio com o milho em primeira safra e manejadas para plantio direto subsequente de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF, 2023

| Sistema de cultivo                    | Biomassa inicial<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup> | Concentração inicial de nutrientes<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |       |       |       |       |       | Lig:N<br>- |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                                       |                                                         | N <sup>2</sup>                                              | P     | K     | Ca    | Mg    | S     |            |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 3153a                                                   | 20.1ab                                                      | 1.11  | 10.5  | 3.91  | 3.55  | 1.24  | 1.02       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 3230a                                                   | 18.9ab                                                      | 1.29  | 12.3  | 4.44  | 5.07  | 1.57  | 2.04       |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 2281bc                                                  | 17.9b                                                       | 1.19  | 11.5  | 4.11  | 4.24  | 1.42  | 2.01       |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 3168a                                                   | 11.8c                                                       | 1.19  | 11.0  | 4.16  | 4.48  | 1.43  | 2.32       |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 1756cd                                                  | 18.1b                                                       | 1.25  | 10.1  | 4.14  | 4.24  | 1.43  | 2.02       |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 2782ab                                                  | 18.0b                                                       | 1.21  | 11.9  | 4.19  | 3.94  | 1.35  | 1.95       |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 1493d                                                   | 21.5a                                                       | 1.16  | 11.6  | 4.11  | 3.93  | 1.33  | 0.98       |
| EPM                                   | 161                                                     | 0.586                                                       | 0.025 | 0.509 | 0.135 | 0.183 | 0.038 | 0.202      |
| <i>P</i> -valor                       | <0.001                                                  | <0.001                                                      | 0.453 | 0.809 | 0.949 | 0.429 | 0.455 | 0.363      |

Médias seguidas de letras distintas diferem pelos testes Duncan<sup>1</sup> e Tukey<sup>2</sup> (P<0.05). EPM: erro padrão da média; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Lig:N: relação lignina:nitrogênio e *P*-valor: valor de probabilidade

A biomassa inicial da cultivar “BRS Sarandi” apresentou as maiores concentrações de FDNp e FDAp quando comparada a outras forrageiras avaliadas (P<0.05), as quais não diferiram entre si (Tabela 7). Em relação à concentração de lignina, as forrageiras não diferiram entre si (P>0.05).

Tabela 7. Concentrações iniciais de frações fibrosas (FDNp e FDAp) e lignina na palhada de gramíneas forrageiras provenientes do consórcio com o milho em primeira safra e manejadas para plantio direto subsequente de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF, 2023

| Sistema de cultivo                    | FDNp   | FDAp                  | Lignina |
|---------------------------------------|--------|-----------------------|---------|
|                                       |        | g kg <sup>-1</sup> MS |         |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 503a   | 224a                  | 20.5    |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 514a   | 233a                  | 37.1    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 529a   | 240a                  | 35.1    |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 600b   | 296b                  | 27.2    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 498a   | 217a                  | 35.8    |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 526a   | 233a                  | 34.9    |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 493a   | 218a                  | 20.5    |
| EPM                                   | 7.32   | 5.28                  | 2.79    |
| <i>P</i> -valor                       | <0.001 | <0.001                | 0.540   |

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (P<0.05). EPM: erro padrão da média; MS: matéria seca; FDNp: fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteína; FDAp: fibra insolúvel em detergente ácido corrigida para proteína e *P*-valor: valor de probabilidade

Houve interação significativa (P<0.05) entre forrageira e dias de decomposição para todas as variáveis avaliadas (biomassa remanescente, N, P, K, Mg, S e Ca). A cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior quantidade de biomassa remanescente comparada a outras forrageiras em todo

o ciclo de desenvolvimento da soja (Figura 4). O tempo de meia-vida variou de 39 a 46 dias para as forrageiras do gênero *Urochloa* spp.; entretanto, a cultivar “BRS Sarandi” apresentou tempo de meia-vida de 63 dias (Tabela 8). Cerca de 78.1, 80.3, 78.1, 77.5, 78.2, 76.9 e 68.8% da biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” foi decomposta em 120 dias, respectivamente.

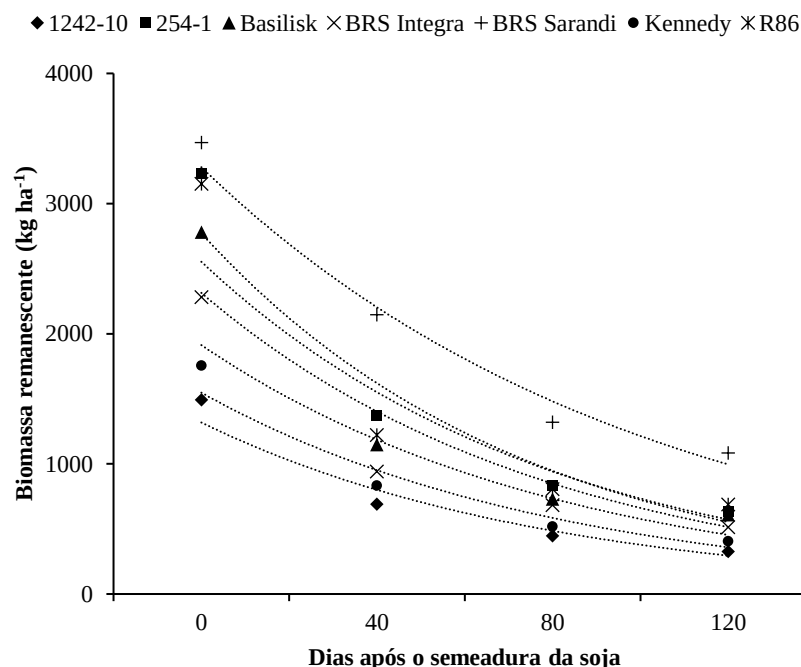


Figura 4. Quantidade de biomassa remanescente das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

Tabela 8. Equações, tempo de meia-vida ( $t/2$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para variáveis biomassa remanescente, nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre e cálcio na dinâmica de decomposição das palhadas de gramíneas forrageiras sob cultivo de soja em sistema de produção integrado – Planaltina, DF. Período de 120 dias (novembro a março)

| Forragem                              | Equação*                         | $t/2$ | $R^2$ |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
| <b>Biomassa remanescente</b>          |                                  |       |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 3061e^{-0.0176\text{dias}}$ | 39    | 0.955 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 3161e^{-0.0172\text{dias}}$ | 40    | 0.977 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 2207e^{-0.0159\text{dias}}$ | 44    | 0.954 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 3425e^{-0.0109\text{dias}}$ | 63    | 0.987 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 1716e^{-0.0149\text{dias}}$ | 46    | 0.977 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 2707e^{-0.0169\text{dias}}$ | 41    | 0.963 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 1458e^{-0.0152\text{dias}}$ | 45    | 0.977 |

|                                       |                                    |                   |       |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------|
| EPM                                   |                                    | 89.3              |       |
|                                       |                                    | <b>Nitrogênio</b> |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 60e^{-0.0141 \text{ dias}}$   | 49                | 0.876 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 58e^{-0.0132 \text{ dias}}$   | 52                | 0.931 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 38e^{-0.0114 \text{ dias}}$   | 61                | 0.894 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 40e^{-0.0046 \text{ dias}}$   | 148               | 0.968 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 31e^{-0.0106 \text{ dias}}$   | 65                | 0.947 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 47e^{-0.0116 \text{ dias}}$   | 59                | 0.894 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 31e^{-0.0135 \text{ dias}}$   | 51                | 0.948 |
| EPM                                   |                                    | 1.42              |       |
|                                       |                                    | <b>Fósforo</b>    |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 3.49e^{-0.0092 \text{ dias}}$ | 75                | 0.992 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 4.10e^{-0.0132 \text{ dias}}$ | 52                | 0.998 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 2.75e^{-0.0086 \text{ dias}}$ | 80                | 0.996 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 4.60e^{-0.0052 \text{ dias}}$ | 132               | 0.665 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 2.26e^{-0.0096 \text{ dias}}$ | 72                | 0.980 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 3.32e^{-0.0096 \text{ dias}}$ | 72                | 0.993 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 1.76e^{-0.0085 \text{ dias}}$ | 81                | 0.981 |
| EPM                                   |                                    | 0.112             |       |
|                                       |                                    | <b>Potássio</b>   |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 33.6e^{-0.0483 \text{ dias}}$ | 14                | 0.998 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 39.5e^{-0.0564 \text{ dias}}$ | 12                | 0.998 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 26.2e^{-0.0415 \text{ dias}}$ | 17                | 0.998 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 37.4e^{-0.0333 \text{ dias}}$ | 21                | 0.996 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 16.1e^{-0.0373 \text{ dias}}$ | 19                | 0.998 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 32.6e^{-0.0484 \text{ dias}}$ | 14                | 0.998 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 17.6e^{-0.0388 \text{ dias}}$ | 18                | 0.998 |
| EPM                                   |                                    | 1.23              |       |
|                                       |                                    | <b>Magnésio</b>   |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 10.6e^{-0.0227 \text{ dias}}$ | 31                | 0.897 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 15.7e^{-0.0262 \text{ dias}}$ | 26                | 0.942 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 9.15e^{-0.0155 \text{ dias}}$ | 45                | 0.906 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 14.8e^{-0.0134 \text{ dias}}$ | 52                | 0.975 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 7.33e^{-0.0177 \text{ dias}}$ | 39                | 0.930 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 10.4e^{-0.0184 \text{ dias}}$ | 38                | 0.854 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 5.76e^{-0.0153 \text{ dias}}$ | 45                | 0.934 |
| EPM                                   |                                    | 0.397             |       |
|                                       |                                    | <b>Enxofre</b>    |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 3.64e^{-0.0094 \text{ dias}}$ | 74                | 0.870 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 4.86e^{-0.0126 \text{ dias}}$ | 55                | 0.980 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 3.28e^{-0.0088 \text{ dias}}$ | 78                | 0.991 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 5.37e^{-0.0055 \text{ dias}}$ | 126               | 0.791 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 2.54e^{-0.0089 \text{ dias}}$ | 78                | 0.990 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 3.79e^{-0.0101 \text{ dias}}$ | 68                | 0.993 |



|                                       |                                    |     |       |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----|-------|
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 2.05e^{-0.0087 \text{ dias}}$ | 80  | 0.991 |
| EPM                                   | 0.127                              |     |       |
| <b>Cálcio</b>                         |                                    |     |       |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | $y = 11.1e^{-0.0087 \text{ dias}}$ | 80  | 0.786 |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | $y = 12.8e^{-0.0083 \text{ dias}}$ | 84  | 0.684 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | $y = 8.63e^{-0.0039 \text{ dias}}$ | 176 | 0.474 |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | $y = 14.1e^{-0.0028 \text{ dias}}$ | 245 | 0.775 |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | $y = 6.61e^{-0.0054 \text{ dias}}$ | 129 | 0.772 |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | $y = 10.1e^{-0.0074 \text{ dias}}$ | 94  | 0.613 |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | $y = 5.61e^{-0.0044 \text{ dias}}$ | 158 | 0.450 |
| EPM                                   | 0.340                              |     |       |

EPM: erro padrão da média e \**P*-valor: valor de probabilidade <0.01

No início da avaliação da decomposição (desaparecimento, tempo 0), a quantidade N (kg ha<sup>-1</sup>) foi maior na biomassa das forrageiras “R86”, “254-1” e “Basilisk” em relação às outras forrageiras (Figura 5); entretanto, valores mais próximos foram observados com o avanço da decomposição. Decomposição mais lenta do N foi verificada para a cultivar “BRS Sarandi” que teve o maior tempo de meia-vida em relação às outras gramíneas (148 vs. 56 dias) comparado com outros capins avaliados (Tabela 8). Quando a quantidade de N na biomassa inicial foi comparada com os valores verificados no último período de avaliação (120 dias), a biomassa das forrageiras “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” liberou cerca de 71.9, 72.5, 67.2, 66.5, 69.4, 66.5 e 41.7%, respectivamente.

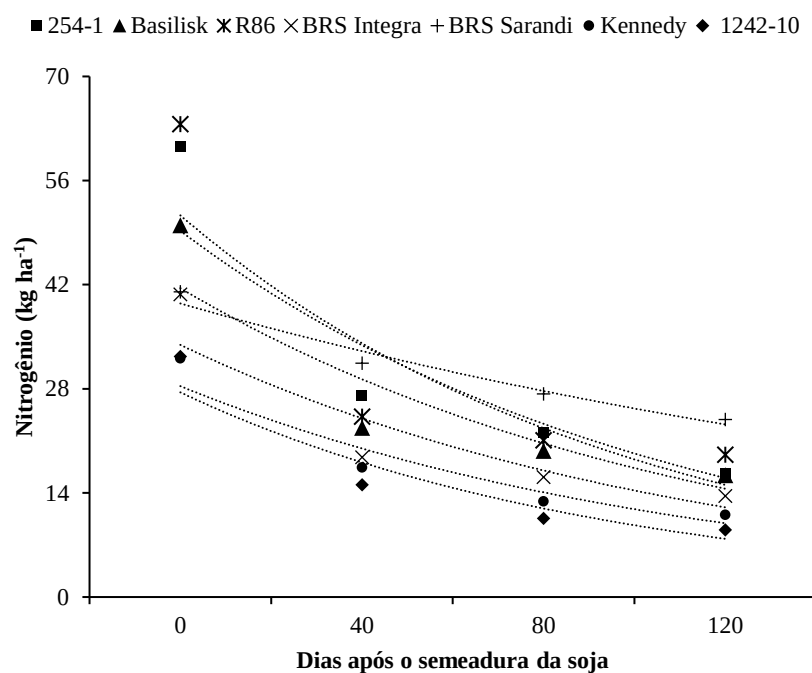


Figura 5. Dinâmica de desaparecimento aparente do nitrogênio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

A biomassa da cultivar “BRS Sarandi” teve a maior quantidade de P, enquanto a forrageira “1242-10” a menor quantidade desse nutriente durante todo o período de decomposição (Figura 6). A quantidade de P decomposta da biomassa do capim “BRS Sarandi” foi inferior a outras forrageiras que tiveram menor tempo de meia-vida (72 vs. 132 dias). A biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” retornou cerca de 69.8, 79.2, 65.3, 65.4, 64.6, 68.2 e 48.0% do P em 120 dias de decomposição, respectivamente.

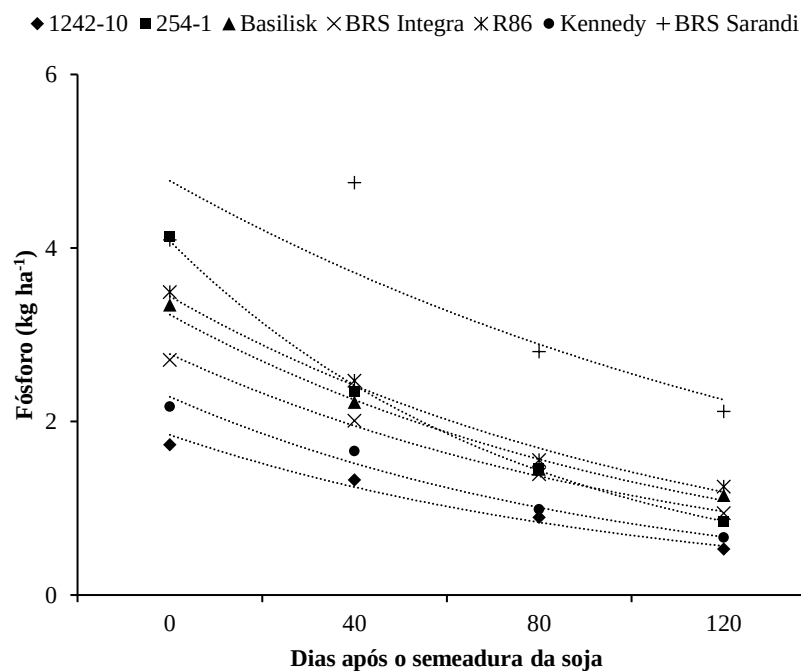


Figura 6. Dinâmica de desaparecimento aparente do fósforo na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

A quantidade inicial de K na biomassa dos capins “254-1”, “BRS Sarandi”, “R86” e “Basilisk” superou as forrageiras “1242-10” e “Kennedy” (Figura 7). O tempo de meia-vida para o K foi relativamente curto (12 a 21 dias) para todos os capins (Tabela 8). A liberação do K foi alta para todas as forrageiras avaliadas, sendo de 96.2, 97.0, 96.2, 96.4, 96.3, 95.1 e 92.7% para as gramíneas “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” em 120 dias, respectivamente.

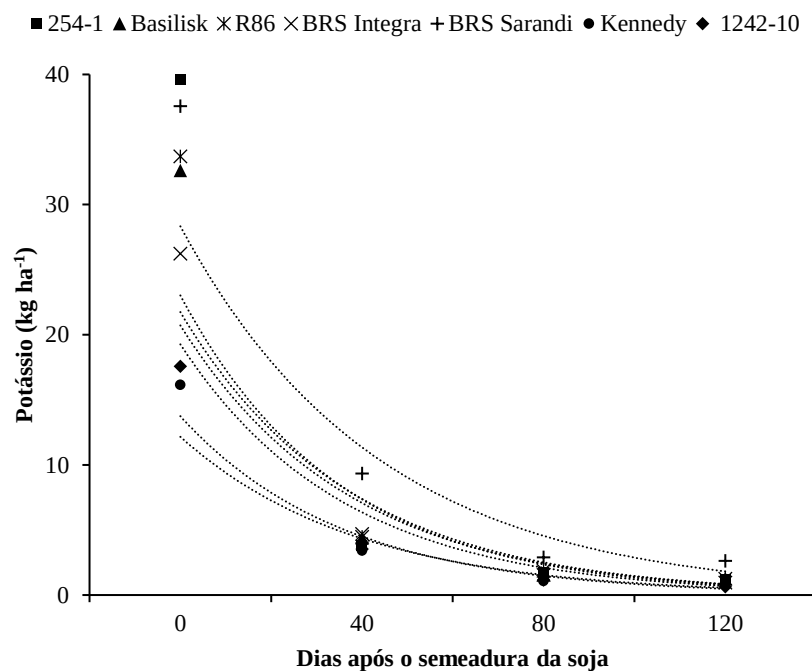


Figura 7. Dinâmica de desaparecimento aparente do potássio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

Maior acúmulo de Mg foi verificado na biomassa das gramíneas “254-1” e “BRS Sarandi” comparadas aos outros capins no tempo zero (Figura 8). Por outro lado, menor quantidade desse mineral foi observada para o genótipo “1242-10” em todo o período de decomposição. Quando a quantidade final (120 dias) de Mg foi comparada à inicial (tempo 0), verificou-se que o retorno desse nutriente foi de 75.5, 82.1, 69.3, 74.2, 76.3, 72.1 e 76.2% para a biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi”, respectivamente.

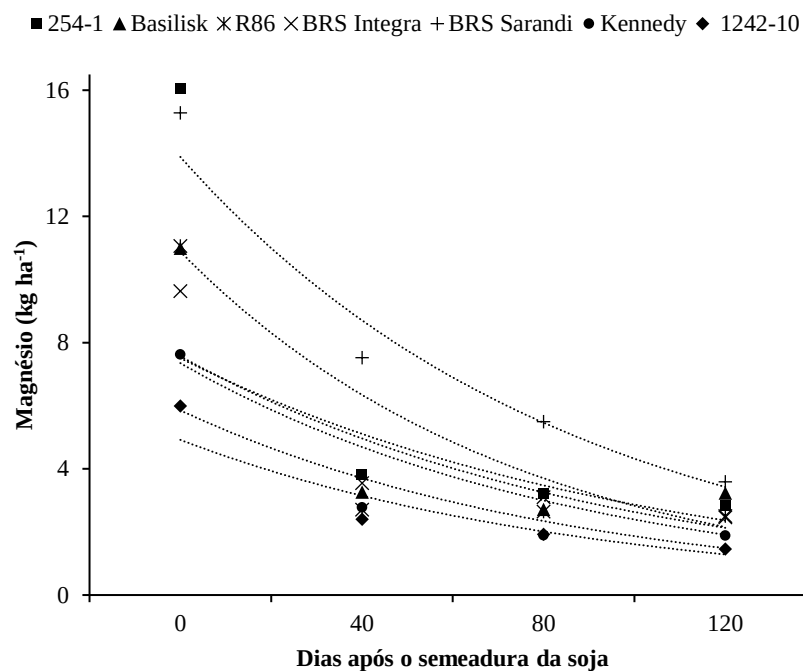


Figura 8. Dinâmica de desaparecimento aparente do magnésio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

A biomassa do capim “BRS Sarandi” teve a maior quantidade, enquanto o genótipo “1242-10” a menor quantidade de S em todo o ciclo (120 dias) de desenvolvimento da soja (Figura 9). O tempo de meia-vida do S na biomassa do capim “BRS Sarandi” superou as outras gramíneas avaliadas (126 vs. 72 dias) (Tabela 8). Cerca de 66.7, 75.5, 65.6, 68.0, 59.0, 61.0 e 52.8% da quantidade inicial de S na biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” foi liberada em 120 dias de decomposição, respectivamente.

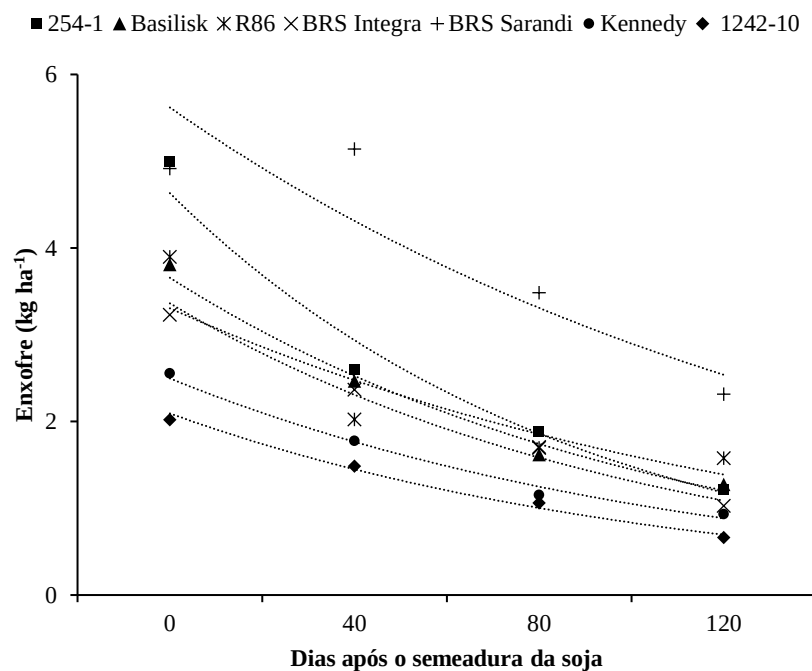


Figura 9. Dinâmica de desaparecimento aparente do enxofre na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

A biomassa da forrageira “BRS Sarandi” manteve a maior quantidade de Ca em relação a outras gramíneas em todo o período de decomposição (Figura 10). Comportamento inverso foi verificado para os capins “1242-10” e “Kennedy”. O Ca foi o nutriente que teve a menor quantidade liberada durante a decomposição. A quantidade de Ca liberada da biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi”, durante os 120 dias de ciclo da soja, foi de 48.7, 60.1, 50.9, 45.1, 57.4, 43.0 e 33.0% em relação à quantidade inicial, respectivamente.

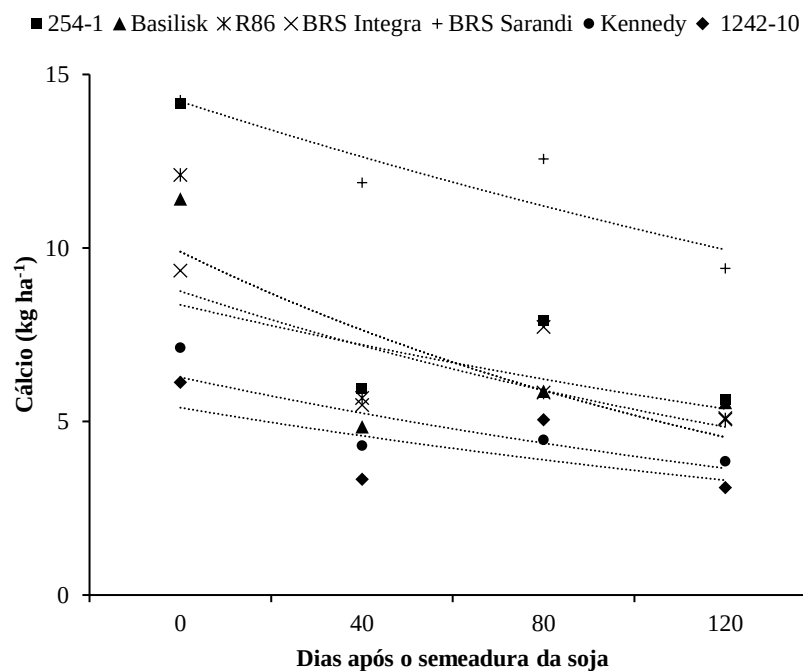


Figura 10. Dinâmica de desaparecimento aparente do cálcio na biomassa das palhadas de gramíneas forrageiras durante o ciclo de produção da soja (0-120 dias) em sistema de produção integrado - Planaltina, DF, 2023/24

O genótipo “254-1” se destacou com a maior quantidade de equivalentes em fertilizantes comparado a outras forrageiras (Tabela 9). A biomassa dos capins “Basilisk” e “R86” liberou maior quantidade de N em relação às cultivares “BRS Sarandi” e “Kennedy”, as quais foram semelhantes. Para o fertilizante  $P_2O_5$ , os capins “R86” e “Basilisk” liberaram quantidades similares; entretanto, superiores à forrageira “1242-10”. Comportamento semelhante foi verificado para o fertilizante  $K_2O$ ; no entanto, a biomassa do capim “Kennedy” também liberou menor quantidade desse fertilizante em relação às forrageiras “R86” e “Basilisk”. As quantidade de fertilizantes equivalentes liberadas das palhadas dos genótipos “254-1” e “Kennedy” equivaleram a aproximadamente R\$ 598 e R\$ 269  $ha^{-1}$  (Tabela 10), respectivamente.

Tabela 9. Quantidades equivalentes de nitrogênio, ureia, pentóxido difósforo, superfosfato simples, óxido de potássio e cloreto de potássio liberados da biomassa dessecada (palhada) de gramíneas forrageiras ao longo de 120 dias sob cultivo com a soja – Planaltina, DF

| Forrageira                            | Equivalente em fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |                               |        |                  |        |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|--------|-------------------------------|--------|------------------|--------|
|                                       | N                                                  | Ureia  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SPS    | K <sub>2</sub> O | KCl    |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 44.5a                                              | 98.8a  | 5.14b                         | 28.5b  | 38.9ab           | 67.1ab |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 44.0a                                              | 97.7a  | 7.53a                         | 41.8a  | 46.1a            | 79.5a  |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 27.1bc                                             | 60.3bc | 4.04bc                        | 22.5bc | 30.3bc           | 52.3bc |

|                                    |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi  | 17.2c  | 38.2c  | 4.53bc | 25.1bc | 41.9ab | 72.3ab |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy  | 21.0c  | 46.7c  | 3.46bc | 19.2bc | 18.5c  | 31.8c  |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk   | 33.6ab | 74.7ab | 5.02b  | 27.9b  | 37.6ab | 64.8ab |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10 | 23.3bc | 51.8bc | 2.75c  | 15.3c  | 20.3c  | 35.1c  |
| EPM                                | 2.31   | 5.12   | 0.328  | 1.82   | 2.52   | 4.34   |
| <i>P</i> -valor                    | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.001  | <0.001 |

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Duncan ( $P < 0.05$ ). EPM: erro padrão da média; N: nitrogênio; ureia: (45% N);  $P_2O_5$ : pentóxido difósforo; SPS: superfosfato simples (18%  $P_2O_5$ );  $K_2O$ : óxido de potássio; KCl: cloreto de potássio (58%  $K_2O$ ) e *P*-valor: valor de probabilidade

Tabela 10. Equivalente (R\$ ha<sup>-1</sup>) em função das quantidades de equivalentes em fertilizantes aparentemente liberados pelas palhadas das gramíneas forrageiras até 120 dias após a dessecação - Planaltina, DF

| Forrageira                            | Equivalente em fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> ) |      |      | Equivalente em (R\$ ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------|
|                                       | Ureia                                              | SPS  | KCl  |                                        |
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86      | 98.8                                               | 28.5 | 67.1 | 542                                    |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1    | 97.7                                               | 41.8 | 79.5 | 598                                    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra | 60.3                                               | 22.5 | 52.3 | 369                                    |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi     | 38.2                                               | 25.1 | 72.3 | 351                                    |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy     | 46.7                                               | 19.2 | 31.8 | 269                                    |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk      | 74.7                                               | 27.9 | 64.8 | 457                                    |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10    | 51.8                                               | 15.3 | 35.1 | 284                                    |

Ureia: 45% N, R\$ 3.22 kg<sup>-1</sup>; superfosfato simples (SPS): 18%  $P_2O_5$ , R\$ 2.28 kg<sup>-1</sup> e cloreto de potássio (KCl): 58%  $K_2O$ , R\$ 2.36 kg<sup>-1</sup>. Média de preços de fertilizantes praticados em Minas Gerais segundo a Conab (2024)

### 3.4 População de plantas, características agronômicas e produtividade da soja

Os dados de população de plantas, características agronômicas e produtividade da soja tiveram distribuição de probabilidade normal e homogeneidade de variâncias. Não houve efeito significativo de sistema de cultivo para nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 11). A altura média das plantas e de inserção da primeira vagem foi de 0.938 e 0.173 m, respectivamente. O número de vagens planta<sup>-1</sup> e de plantas ha<sup>-1</sup> foi em média 36.7 e 315833, respectivamente. A produtividade média de soja foi de 3908 kg ha<sup>-1</sup> e o peso de 1000 grãos 0.155 kg.

Tabela 11. Altura de planta e de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta e número de plantas por área, peso de 1000 grãos e produtividade de soja cultivada sobre a biomassa de gramíneas forrageiras provenientes do cultivo com milho no ano agrícola anterior – Planaltina, DF

| Sistema de cultivo | Altura (m) | Nº de vagens |
|--------------------|------------|--------------|
|--------------------|------------|--------------|



|                                               |       | <b>Inserção 1ª vagem<br/>(m)</b> | <b>(planta<sup>-1</sup>)</b> |
|-----------------------------------------------|-------|----------------------------------|------------------------------|
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86 e milho      | 0.908 | 0.176                            | 36.8                         |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1 e milho    | 0.948 | 0.181                            | 38.5                         |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra e milho | 0.977 | 0.185                            | 34.8                         |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi e milho     | 0.900 | 0.185                            | 35.3                         |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy e milho     | 0.933 | 0.164                            | 34.7                         |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk e milho      | 0.983 | 0.165                            | 35.2                         |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10 e milho    | 0.931 | 0.158                            | 36.3                         |
| Pousio                                        | 0.923 | 0.168                            | 42.3                         |
| EPM                                           | 0.010 | 0.003                            | 0.666                        |
| <i>P</i> -valor                               | 0.208 | 0.104                            | 0.064                        |

| <b>Sistema de cultivo</b>                     | <b>Peso 1000*<br/>grãos (kg)</b> | <b>Produtividade*<br/>(kg ha<sup>-1</sup>)</b> | <b>Plantas<br/>(ha<sup>-1</sup>)</b> |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>U. decumbens</i> genótipo R86 e milho      | 0.155                            | 4176                                           | 315000                               |
| <i>U. decumbens</i> genótipo 254-1 e milho    | 0.157                            | 3841                                           | 300000                               |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. BRS Integra e milho | 0.155                            | 3876                                           | 310000                               |
| <i>A. gayanus</i> cv. BRS Sarandi e milho     | 0.155                            | 3778                                           | 308333                               |
| <i>U. ruziziensis</i> cv. Kennedy e milho     | 0.154                            | 3744                                           | 306667                               |
| <i>U. decumbens</i> cv. Basilisk e milho      | 0.155                            | 4001                                           | 340000                               |
| <i>U. híbrida</i> genótipo 1242-10 e milho    | 0.154                            | 4056                                           | 325000                               |
| Pousio                                        | 0.154                            | 3796                                           | 321667                               |
| EPM                                           | 0.0003                           | 73.4                                           | 4376                                 |
| <i>P</i> -valor                               | 0.247                            | 0.612                                          | 0.418                                |

\*Soja corrigida para 13% de umidade. EPM: erro padrão da média e *P*-valor: valor de probabilidade

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Características agrônômicas e produtividade de gramíneas forrageiras

A manutenção do equilíbrio entre a oferta e a qualidade da forragem produzida é fundamental para maximizar a ingestão de matéria seca (IMS), e consequentemente, o desempenho animal. Entretanto, manter esse equilíbrio quase sempre é tarefa difícil. Existem no mercado vários genótipos de forrageiras tropicais com potencial de atender as mais diversas condições de clima e solo do Brasil. No entanto, em razão de suas próprias características, como hábito de crescimento, capacidade de rebrote e de resposta à adubação, nível de exigência em fertilidade de solo, potencial produtivo e valor nutritivo, esses genótipos requerem manejos específicos. É neste contexto que se enquadram os principais gargalos do manejo de pastagens, onde a maioria dos produtores cometem erros que resultam em baixos índices produtivos e em degradação das pastagens.

Em extensa revisão de literatura, Bargo et al. (2003) citaram a baixa IMS como o principal limitante da produção de vacas leiteiras a pasto, o que provavelmente também ocorre nos sistemas de produção de bovinos de corte. A IMS de pasto é uma função do tempo de pastejo, da taxa e do tamanho do bocado, expressa como o produto do tempo de pastejo ( $\text{min dia}^{-1}$ ), taxa de bocado ( $\text{bocados min}^{-1}$ ) e massa de bocado ( $\text{g MS kg}^{-1} \text{ bocado}$ ). O bovino tem comportamento ingestivo específico, no qual apreende e manipula o capim com a língua, o que faz esses animais terem preferência por pastejar folhas. De acordo com Forbes (1995); McGilloway e Mayne (1996), dentre as variáveis que descrevem o comportamento ingestivo dos animais a massa de bocado ( $\text{g MS kg}^{-1} \text{ bocado}$ ) é a que mais influencia a IMS. Esse parâmetro é influenciado, especialmente pela estrutura do pasto, tal como a altura do dossel, a disponibilidade de folhas e a densidade.

Existe relação entre altura da planta e massa de forragem (Macari et al., 2011). No presente estudo, a maior altura de dossel foi verificada no primeiro corte para todas as forrageiras avaliadas, provavelmente em razão do sombreamento combinado com a maior disponibilidade de chuvas e nutrientes durante a fase de crescimento das forrageiras, bem como devido à colheita mecanizada do milho com a plataforma da colhedeira a 0.50 m de altura em relação ao nível do solo. A rápida emergência do milho comparada às forrageiras provoca sombra que estimula o alongamento das hastes das gramíneas forrageiras para melhorar a captação de luz. A cultivar “BRS Paiaguás” teve maior altura de dossel no consórcio do que no monocultivo (Santos et al., 2020a). Esta mesma forrageira atingiu maior altura de dossel no primeiro corte (colheita do milho, junho) em relação ao segundo (outubro) (Guarnieri et al., 2019). O alongamento de hastes resulta em maior concentração de componentes fibrosos (FDN) e em menor proporção de folhas na estrutura do dossel, o que foi evidenciado pela maior e menor concentração de FDNp e PB no primeiro corte para a maioria das forrageiras.

O hábito de crescimento da gramínea forrageira é um dos fatores que influenciam sua capacidade de alcançar maior ou menor altura de dossel. As forrageiras com crescimento cespitoso geralmente atingem maior altura de dossel quando comparadas às de crescimento estolonífero. Esse comportamento foi verificado no presente estudo, onde a cultivar “BRS Sarandi”, planta de crescimento cespitoso, apresentou a maior altura de dossel em todos os cortes (1.61; 0.853; 0.670 m). Braga et al. (2024) registraram, em três anos de avaliação, alturas de 0.910 a 1.30 m para a cultivar “BRS Sarandi” sob pastejo. Esses valores foram relativamente próximos aos verificados

neste estudo (0.670 a 1.61 m), onde as plantas tiveram livre crescimento, sem a participação de animais controlando o alongamento de hastes; entretanto, isso indica que a cultivar se estabeleceu adequadamente com bom potencial de uso como pastagens. Cultivares com hábito de crescimento estolonífero (“Kennedy”) ou cespitoso, mas de porte baixo “BRS Ipyporã” (Valle et al., 2017) tiveram as menores alturas de dossel em três cortes avaliados (0.357; 0.782; 0.945 m) quando comparadas às plantas de crescimento cespitoso e de grande porte: “Marandu”; “Xaraés”; “BRS Paiaguás” e “BRS Piatã” (0.470; 0.970; 1.06 m) (Oliveira et al., 2020).

A ausência de competição por nutrientes, umidade e luminosidade entre as plantas no consórcio após a colheita do milho evidenciou o menor potencial de crescimento do genótipo “1242-10” em relação às forrageiras “R86”, “254-1” e “Basilisk”. A gramínea “1242-10” é um híbrido oriundo do cruzamento interespecífico entre a *Urochloa* spp. cultivares, *U. decumbens*, *U. brizantha* e *U. ruziziensis*. Semelhante a outros híbridos como o capim “BRS Ipyporã”, parece formar touceiras de baixo porte, prostadas, com baixa emissão de estolões e alto perfilhamento basal; colmos curtos e delgados (Valle et al., 2017). A semelhança de altura de dossel encontrada para as forrageiras “BRS Integra” e “1242-10” talvez não fosse esperada, pois a primeira gramínea parece ter porte mais alto em relação à segunda, conforme evidenciado no primeiro corte (0.953 vs. 0.715 m). A ausência de pastejo de animais ou simulado pode ter influenciado esse resultado, tendo em vista que a cultivar “BRS Integra” tem alta produção de folhas (Paciullo et al., 2021; Rodrigues et al., 2023). A remoção de folhas por ação do pastejo estimula o crescimento das plantas, pois aumenta a incidência de luz nos estratos basais do dossel (Martuscello et al., 2019). Entretanto, o livre crescimento pode resultar em excesso de material, aumentando-se as chances de ocorrer acamamento, especialmente daquelas plantas com colmos finos (Machado et al., 2017).

A cultivar “BRS Sarandi” também apresentou redução linear na altura de dossel sem afetar a produtividade no segundo corte, mas esta é uma característica desejável. Plantas forrageiras da espécie *A. gayanus* apresentam como características favoráveis a boa produtividade e o valor nutritivo, o rápido rebrote após as primeiras chuvas, a baixa exigência em fertilidade de solo e a tolerância aos solos pobres, rasos e ácidos. No entanto, têm como principal limitante a dificuldade de manejo, pois em sua fase vegetativa produz de forma intensiva, mas na fase reprodutiva reduz drasticamente a relação folha:haste e a digestibilidade em função do alongamento de hastes (Sousa et al., 2010). A cultivar “BRS Sarandi” foi geneticamente selecionada para adaptação a esses

limitantes, o que possibilitou reduzir a altura de dossel, o acúmulo de hastes e de material morto e aumentar o perfilhamento basal (Carvalho et al., 2021). Em estudo de três anos avaliando a cultivar demonstrou redução de até 6.55% na altura de dossel em relação à forrageira *Andropogon gayanus* Kunth cv. Planaltina (1.22 vs. 1.30 m) (Braga et al., 2024).

O genótipo “1242-10” se mostrou mais sensível à competição no consórcio com o milho em relação à média das forrageiras “Kennedy” e “BRS Integra”, o que pode explicar sua menor produtividade (1617 vs. 3558 kg MS ha<sup>-1</sup>). Contrastando estes resultados, híbridos de *Urochloa* spp., tiveram produtividades de 3205 kg MS ha<sup>-1</sup> (pré-pastejo) “BRS Ipyporã” e 6640 kg MS ha<sup>-1</sup> “Mulato II” e BRS Ipyporã” (Euclides et al., 2018; Paraíso et al., 2019), indicando seu potencial de produção e que possivelmente o consórcio interferiu nessa variável. A cultivar “BRS Sarandi” não se mostrou sensível à competição e ao sombreamento no consórcio com o milho, tendo em vista que sua produtividade não variou entre os cortes. Pastos de “BRS Sarandi” produziram entre 14353 e 18424 kg MS ha<sup>-1</sup> (março-junho) (Braga et al., 2024) e 5180 kg MS ha<sup>-1</sup> em sucessão à soja, na estação seca (Prado et al., 2023), valores que superam os encontrados no presente estudo, mas que permitem evidenciar a boa produtividade desse capim. A *U. decumbens* genótipo “254-1” aumentou em 65.9% a produtividade de MS de forragem do primeiro para o segundo corte, evidenciado sua sensibilidade à competição no consórcio; entretanto, esse resultado é favorável, pois indica que a planta aumenta drasticamente a produtividade no período que geralmente os animais iniciam o pastejo.

As forrageiras “R86”, “BRS Integra”, “254-1”, “Basilisk”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” produziram em quantidades similares no primeiro corte; entretanto, no segundo corte, com exceção da cultivar “BRS Sarandi”, esses capins produziram cerca de 120% a mais em relação ao genótipo “1242-10” (4462 vs. 2031 kg MS ha<sup>-1</sup>). Esses resultados evidenciam a interferência da competição intraespecífica no consórcio na produtividade das forrageiras e também o menor potencial de produção do genótipo “1242-10”. Na ausência das plantas de milho provocando sombra, aumenta-se a incidência solar nos estratos basais do dossel forrageiro que estimula a germinação de novas gemas laterais, resultando na formação de novos perfilhos (Santos et al., 2020a). Foram alcançadas produtividades para cultivares de *Urochloa* spp. “Kennedy” e “BRS Ipyporã” (3950 kg MS ha<sup>-1</sup>), “Marandu” (4160 kg MS ha<sup>-1</sup>), “Xaraés”, “BRS Piatã” e “BRS Paiaguás” (5516 kg MS ha<sup>-1</sup>) no consórcio com o sorgo (Oliveira et al., 2020) e com o milho 5458 kg MS ha<sup>-1</sup> (“BRS Paiaguás”) na

entressafra (Guarnieri et al., 2019). As forrageiras avaliadas tiveram produtividades próximas às encontradas nesses estudos, portanto, isso indica que os capins se estabeleceram adequadamente no consórcio com o milho.

O cultivo de pastos em sistemas integrados é uma maneira de minimizar o desafio da produção de forragem durante a estação seca. Tanto a retenção de umidade quanto a disponibilidade de fertilizantes residuais favorecem a produção dos pastos nesses sistemas (Leal et al., 2024). A produção de forragem obtida nos três cortes no período seco do ano tem potencial para atender satisfatoriamente a demanda para a alimentação de animais, em um período do ano que geralmente os pastos produzem menos em relação ao período chuvoso, em função da baixa disponibilidade de água que limita o crescimento das plantas na região do Cerrado brasileiro.

Os genótipos “R86” e “254-1” aumentaram em aproximadamente 116% a produtividade no último corte em relação ao primeiro corte, enquanto a “BRS Integra” reduziu em quase duas vezes a quantidade produzida no primeiro e segundo cortes. As forrageiras “R86” e “254-1” são genótipos de *U. decumbens*, planta com boa capacidade produtiva, adaptada às regiões secas e aos solos pobres, ácidos e com alta concentração de alumínio. Essas características, aliadas ao rápido rebrote após as primeiras chuvas, provavelmente explicam o aumento de produtividade dos genótipos “R86” e “254-1” no terceiro corte, período marcado pela transição seca-águas. A cultivar “Basilisk” também pertencente à espécie forrageira *U. decumbens* apresentou alta produtividade média no segundo e terceiro cortes (6269 kg MS ha<sup>-1</sup>). A produtividade desse capim variou de 2390 a 3894 (Lima et al., 2019) e ~1500 a 2500 kg MS ha<sup>-1</sup> (Santos et al., 2020b) em sistemas silvipastoris no pleno sol. Esses valores contrastam, mas evidenciam a alta produtividade desse capim no presente estudo, provavelmente em função das condições edafoclimáticas favoráveis, realçando um dos principais benefícios do consórcio entre culturas anuais e forrageiras perenes: o aproveitamento dos fertilizantes residuais para estabelecimento ou recuperação de pastos em processo de degradação (Andrade et al., 2020).

A “BRS Integra”, nova cultivar de *U. ruziziensis*, apesar de produtiva (Paciullo et al., 2021; Rodrigues et al., 2023), provavelmente mantém a expressão de genes que conferem menor tolerância e capacidade de rebrotação na estação seca (Dias et al., 2020, 2021). Esta espécie de gramínea forrageira floresce mais tardiamente (maio-agosto) e pode reduzir drasticamente sua produtividade. Além disso, à medida que ocorre o florescimento, há um aumento na proporção de

massa de forragem senescente, que se torna mais suscetível à decomposição, o que pode, consequentemente, justificar a queda de produtividade observada para a “BRS Integra” no último corte, de 4963 para 2600 kg MS ha<sup>-1</sup>.

A densidade dos pastos indica a quantidade de massa de forragem (kg MS) ha<sup>-1</sup> existente em cada cm do dossel forrageiro. É um importante indicador, pois influencia a IMS de forragem pelos animais (Paraiso et al., 2019). Os pastos de forrageiras tropicais manejados com menor altura tendem a ter maior densidade quando comparados aos pastos manejados com maior altura, implicando em menor volume (produto entre a área e profundidade) e massa (produto entre volume e densidade) de bocado (Sollenberger; Burns, 2001). A produtividade e a altura geralmente apresentam relação inversa com a densidade dos pastos. Isso significa que os pastos mais altos e produtivos tendem à menor densidade, mas geralmente com maior quantidade de folhas verdes no ápice do dossel (Silva et al., 2016). Esse comportamento foi observado para a forrageira “BRS Sarandi” no primeiro corte. Almeida et al. (2023) encontraram maior densidade para pastos de *Urochloa ruziziensis* cv. Mulato II manejados por lotação contínua (314 vs. 263 kg MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>) e rotativa (267 vs. 217 kg MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>) com 20 e 30 cm de altura, respectivamente. Redução linear na densidade de pastos de “Mulato II” ocorreu em função do aumento da altura de dossel e da produtividade (Silva et al., 2016). O aumento na densidade dos pastos verificado no segundo corte foi, principalmente devido à redução na altura de dossel. Entretanto, Almeida et al. (2024) mostraram efeito da adubação na densidade de pastos, o que também pode ter ocorrido no presente estudo, onde os pastos não foram adubados. A fertilização nitrogenada aumenta o índice de área foliar, a proporção e a densidade de folhas na MS de forragem (Martuscello et al. 2019), possibilitando maior seleção de folhas pelos animais em pastejo (Silva et al., 2016).

O adequado estabelecimento de gramíneas forrageiras no sistema integrado é fundamental para se atingir acúmulo de forragem suficiente para manter o solo coberto, produzir palhada (Soares et al., 2024) e alimentar os animais. Os resultados (altura, produtividade e densidade) alcançados sugerem que as forrageiras avaliadas estabeleceram-se adequadamente no consórcio com o milho e têm potencial de uso na alimentação animal no período de entressafra. As cultivares de forrageiras “Kennedy” (Dias et al., 2021; Vilela et al., 2017), “Basilisk” (Lima et al., 2019; Santos et al., 2020b), “BRS Sarandi” (Braga et al., 2024) e alguns híbridos de *Urochloa* spp. (“BRS Ipyoporã” e “Mulato II”) (Euclides et al., 2018; Paraiso et al., 2019) tiveram bons desempenhos como pastagens

para uso na entressafra, na região de Cerrado brasileiro, onde geralmente, nesse período, a baixa disponibilidade de água limita a produção de forragem. Isso indica a necessidade de mais estudos com pastejo para melhor explorar esse potencial de uso, especialmente dos capins com lançamento recente (“BRS Integra” e “BRS Sarandi”) e dos genótipos promissores em avaliação “1012-42”, “R86” e “245-1”.

#### 4.2 Composição química-bromatológica de gramíneas forrageiras

A composição química das forrageiras também afeta a IMS de bovinos a pasto. Em função das diferentes condições de crescimento quando em consórcio, a composição química de gramíneas forrageiras pode apresentar padrão de comportamento relativamente distinto. Mesmo em fase de crescimento vegetativo, a gramínea forrageira em consórcio com culturas anuais, pode apresentar predominância de hastes em detrimento das folhas devido ao sombreamento e à competição entre as plantas. O alongamento de hastes e a redução proporcional de folhas resulta em menor concentração de PB e em maior concentração de compostos fibrosos (Guarnieri et al., 2019).

Com exceção do híbrido “1242-10” e da cultivar “Kennedy”, todas as forrageiras do gênero *Urochloa* spp. apresentaram maior concentração de PB no terceiro corte em relação ao primeiro. Comportamento similar foi observado por Guarnieri et al. (2019), onde a cultivar “BRS Paiaguás” apresentou concentração de PB menor no primeiro corte comparado com o segundo (87.4 vs. 112 g kg<sup>-1</sup> MS). O sombreamento provocado pela sobreposição entre as folhas das plantas de milho no consórcio estimula o estiolamento das gramíneas forrageiras, resultando em alongamento de hastes e em redução na relação folha:haste, sendo esta a mais provável explicação para a menor concentração de PB verificada no primeiro corte. O terceiro corte ocorreu em outubro de 2023, período marcado pela transição seca-águas, em que a precipitação pluvial acumulada (15.1 vs. 62.8 mm) e a temperatura média (21.0 vs. 24.7°C) superaram o mês de junho, quando ocorreu o segundo corte. Essa condição climática pode estimular brotações nas gemas axilares, bem como a emissão de novos perfilhos (Soares et al., 2009), aumentando-se a relação folha:haste. Folhas concentram alta quantidade de nitrogênio solúvel (Vargas Júnior et al., 2013). A grande proporção de enzimas que participam da fotossíntese nas folhas também contribui para aumentar a concentração de PB nessa fração vegetal (Irving, 2015).

Enquanto o genótipo “1242-10” se destacou com a maior concentração de PB em todos os períodos de avaliação, a gramínea “BRS Sarandi” foi a que apresentou a menor concentração desse nutriente, sendo a única gramínea que não atingiu a concentração mínima de 70 g PB kg<sup>-1</sup> MS para não limitar a fermentação ruminal de fibras (Van Soest, 1994), condição comumente associada ao consumo de alimentos pobres em proteína que resulta em atraso no crescimento microbiano e na atividade fermentativa no rúmen. Forrageiras tropicais cultivadas em sistemas integrados tiveram concentrações de PB similares às encontradas no presente estudo 106 a 118 g kg<sup>-1</sup> MS (“Kennedy”), 99.0 a 138 g kg<sup>-1</sup> MS (“Xaraés”), 99.0 a 111 g kg<sup>-1</sup> MS (“BRS Quênia”), 108 g kg<sup>-1</sup> MS (“Marandu”), 123 g kg<sup>-1</sup> MS (“BRS Piatã”), 125 g kg<sup>-1</sup> MS (“BRS Paiaguás”), 121 g kg<sup>-1</sup> MS (“BRS Ipyporã”), 120 a 70.7 g kg<sup>-1</sup> MS (“Mombaça”), 144 a 78.3 g kg<sup>-1</sup> MS (“BRS Tamani”) no período seco (Dias et al., 2021; Leal et al., 2024; Oliveira et al., 2020). O cultivo de pastos de primeiro ano nos sistemas integrados é mais uma de suas vantagens, pois permite a oferta de forragem de qualidade para alimentação animal no período de seca. A concentração de PB da forrageira “1242-10” (média entre cortes 116 g kg<sup>-1</sup> MS) garante seguramente as exigências (107 g kg<sup>-1</sup> MS) de um animal macho não castrado com 300 kg de peso corporal e ganho médio diário de 0.650 kg (Valadares-Filho et al., 2023). Por outro lado, as concentrações intermediárias (100 a 108 g kg<sup>-1</sup> MS) desse nutriente verificadas para as outras forrageiras indicam baixa necessidade de suplementação, o que implica redução de custo de produção.

A fração nitrogenada ligada à porção insolúvel em detergente ácido da parede celular (NIDA) tem sido utilizada por alguns sistemas nutricionais, (AFRC, 1993) e *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (Sniffen; Van Soest; Russell, 1992), como indicador da digestibilidade potencial dos compostos nitrogenados totais. Considera-se esta a fração total de compostos nitrogenados não-utilizáveis pelo animal, ou seja, não disponíveis para a fermentação microbiana ruminal ou para a digestibilidade intestinal (Sniffen; Van Soest; Russell, 1992). Os compostos nitrogenados na forma de NIDA parecem ser resistentes à digestão ou indigestíveis por estarem associados à lignina e a outros compostos, tal como os taninos (Licitra; Hernandez; Van Soest, 1996). A concentração de NIDA da cultivar “BRS Sarandi” superou em 87.7% a concentração média verificada para as outras forrageiras (83.1 vs. 156), o que representa 72.9 g de N não-disponível a mais kg<sup>-1</sup> PB. A concentração de lignina não variou entre as forrageiras, com exceção do genótipo “1242-10” que apresentou os menores valores; entretanto, a alta concentração de FDNp e a baixa concentração de PB verificada para a cultivar “BRS Sarandi” em todos os cortes,



sugerem baixa relação folha:haste, sendo provavelmente a causa da maior quantidade de compostos nitrogenados associados à lignina contida na parede celular (NIDA) observada para tal forrageira e também para os dois primeiros cortes comparados com o último corte.

Com o avanço da maturidade das plantas, alterações nos componentes da lignina podem ocorrer, tais como mudança na relação guaiacila e siringila e aumento das ligações com o ácido ferúlico (Buxton; Russell, 1988). Este ácido participa das ligações cruzadas entre a lignina e os polissacarídeos (arabinoxilanas) via ligações éster e éter, tornando-os indisponíveis a degradação microbiana (Jung; Allen, 1995). As ligninas com maior proporção de siringila em sua composição têm estrutura linearizada e com maior capacidade de penetração na parede celular secundária, promovendo barreira que impede a degradação enzimática dos polissacarídeos de parede celular (Jung; Allen, 1995). Essas modificações podem ter ocorrido mais intensivamente na cultivar “BRS Sarandi”, o que também explica sua maior concentração em NIDA. Aumentos progressivos na concentração de NIDA foram verificadas para as forrageiras “Marandu” (98.3 a 125); “Mombaça” (87.6 a 219); “Tanzânia” (90.0 a 110); “BRS Tamani” (90.1 a 173); “Xaraés” (80.9 a 175); “Kennedy” (91.7 a 230) (Dias et al., 2023; Leite et al., 2021; Velásquez et al., 2010) com o avanço do período seco, sendo, portanto, valores superiores à média (83.1) encontrada para as *Urochloa* spp. avaliadas no presente estudo. Esse resultado enfatiza os benefícios do sistema integrado em possibilitar a produção de foragem de qualidade para a alimentação animal no período seco, principalmente como resultado de melhorias contínuas nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

Com a maturidade das plantas, mesmo que a produção de MS aumente, seu valor nutritivo reduz. Isso ocorre devido ao acúmulo de compostos estruturais como a celulose, hemiceluloses e lignina e redução do conteúdo celular (Van Soest, 1994). A perda de valor nutritivo das forragens com o avanço da idade se dá, principalmente devido à redução da relação folha:haste e diminuição da qualidade dos componentes da haste. As hastes têm maior proporção de tecidos que compõe a parede celular secundária em comparação às folhas, o que implica em menor digestibilidade ruminal (Jung, 2011). Nas regiões de clima tropical, na estação seca do ano ocorre menor disponibilidade de chuvas e encurtamento do fotoperíodo, resultando em menor taxa de fotossíntese que compromete a produção de forragem e provoca mudanças na estrutura do dossel. Espera-se que as concentrações de FDN e FDA das gramíneas forrageiras tropicais aumentem com

o avanço da estação seca do ano em função do alongamento das hastes, o que diminui a relação folha:haste e provoca drástica queda nas concentrações de PB (Detmann et al., 2014a). Entretanto, esse não foi o padrão observado no presente estudo, onde a maioria das forrageiras reduziram a concentração de frações fibrosas com o avanço da estação seca. Provavelmente, esse comportamento tem a mesma explicação daquele verificado para a concentração de PB; alongamento de hastes induzido pelo sombreamento (baixa relação folha:haste) e a transição seca-águas, onde a disponibilidade de água estimulou o brotamento das plantas, aumentando-se a participação de folhas na relação folha:haste.

As forrageiras “Kennedy” e “1242-10” não variaram as concentrações de FDNp e FDAP entre os cortes, provavelmente como resultado do menor alongamento de hastes, mantendo-se mais equilibrado seu valor nutritivo. Por outro lado, a cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior concentração de FDNp e FDAP em todos os cortes. Tal comportamento se justifica devido à sua maior altura de dossel, provavelmente resultado do alongamento de hastes que contém alta quantidade de frações fibrosas. Braga et al. (2024) relataram concentrações de 634 g FDN kg<sup>-1</sup> MS e 337 g FDA kg<sup>-1</sup> MS para a cultivar “BRS Sarandi”, ou seja, valores relativamente próximos aos observados no segundo e terceiro cortes (FDNp 662 g kg<sup>-1</sup> MS e FDAP 310 g kg<sup>-1</sup> MS). Isso evidencia que a alta concentração de frações fibrosas verificada no primeiro corte foi devido ao alongamento de hastes induzido pelo sombreamento. No entanto, a progressiva redução na concentração desses compostos a partir do segundo corte é uma característica favorável, pois sugere melhoria na relação folha:haste, e consequentemente no valor nutritivo.

O valor nutritivo de um alimento é uma função do seu consumo e digestibilidade. A FDN está diretamente relacionada com o consumo voluntário de MS por ser a fração que provoca enchimento ruminal, mecanismo de regulação do consumo predominante em animais a pasto, dependente da degradação e da taxa de passagem (Raymond, 1969).

De acordo com Detmann et al. (2024), a FDN digestível é o principal indicador da disponibilidade de energia dos carboidratos fibrosos, celulose e hemiceluloses, que pode ser utilizada para o crescimento microbiano e para atender às exigências de manutenção e produção do hospedeiro. Esses autores mostraram aumento de 0.170 g kg<sup>-1</sup> peso corporal na IMS para cada ponto percentual (Ex.: 0.01 g g<sup>-1</sup>) de aumento na digestibilidade da FDN. Nos trópicos, a suplementação de animais a pasto com fontes de proteína e N tem como princípio melhorar a

condição ruminal e aumentar o aproveitamento da energia dos carboidratos fibrosos (Detmann et al., 2009, 2014a), e consequentemente estimular a IMS. Forrageiras tropicais com baixa concentração de PB comprometem a degradação da fibra e o aproveitamento da energia e da proteína metabolizável pelo hospedeiro. Entretanto, apesar do melhor valor nutritivo e maior disponibilidade das pastagens tropicais durante a estação chuvosa, a utilização dos pastos não pode ser considerada ótima. Isso ocorre devido a um desbalanço caracterizado pelo excesso de energia em detrimento da PB disponível (Detmann et al., 2014a). Esse desbalanço pode limitar o desempenho dos animais, podendo ser contornado com a suplementação proteica. Isso mostra que a baixa concentração de PB da cultivar “BRS Sarandi” não é um limitante para o seu uso na alimentação animal, pois pode ser efetivamente corrigida com o uso de suplementação proteica e, mesmo para as outras forrageiras que apresentaram maiores concentrações desse nutriente, pode ser preciso suplementar para se atingir maiores desempenhos.

Os carboidratos fibrosos, as hemiceluloses e a celulose, são proporcionalmente a maior fração da matéria orgânica fermentável no rúmen. Contribuem energeticamente para o crescimento e multiplicação da população microbiana no rúmen, sendo esta a fonte mais importante de proteína metabolizável para animais com dieta a base de forrageiras tropicais (Owens; Qi; Sapienza, 2014). Os carboidratos fibrosos também têm importante efeito como estimuladores da ruminação e mastigação. No presente estudo, as concentrações de celulose das forrageiras apresentaram comportamento parecido com a FDAp: maiores valores no primeiro corte em relação ao último, provavelmente devido ao alongamento de hastes e acúmulo de componentes de parede celular secundária. Essa mesma hipótese pode explicar o maior valor de celulose encontrado no primeiro corte em relação aos outros cortes. No efeito principal forrageira, a cultivar “BRS Sarandi” apresentou a maior quantidade de hemiceluloses, comportamento que também pode estar relacionado ao alongamento de hastes. Entretanto, a forrageira “BRS Integra” demonstrou baixa deposição de hemiceluloses em relação às cultivares “BRS Sarandi” e “Basilisk”, o que pode estar associado à sua morfologia composta por colmos finos (~ 3 mm de diâmetro), tal como relatado por Martuscello et al. (2019) para a cultivar “BRS Tamani” (~ 3.3 mm de diâmetro).

De acordo com Van Soest (1994), altas quantidades de FDA e FDN correlacionam-se negativamente com a digestibilidade e a IMS, respectivamente. Este autor estabeleceu os parâmetros 400 e 600 g FDA e FDN kg<sup>-1</sup> MS como limites máximos para não interferir na

digestibilidade e IMS. Baseado nesses parâmetros, provavelmente a cultivar “BRS Sarandi” poderia limitar a IMS por ter apresentado concentrações de FDNp superiores a  $600 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  em todos os cortes. Para FDAp os seus valores foram quase sempre inferiores ao limite máximo de  $400 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ; entretanto, foi a forrageira que apresentou a menor digestibilidade, possivelmente pela alta concentração de componentes de parede celular secundária em suas hastes. Detmann et al. (2014b) e Detmann et al. (2024) avaliaram 880 dietas que continham como fonte de volumoso forrageiras tropicais e não encontraram associação entre a IMS e a concentração de FDN na dieta. Por outro lado, Detmann et al. (2024) verificaram aumento linear na síntese de proteína microbiana com aumento da digestibilidade da FDN total, assim como aumento dessa síntese à medida que a FDN da dieta reduziu devido à maior disponibilidade de matéria orgânica fermentável no rúmen proveniente de carboidratos não fibrosos da adição de concentrados/suplementos. Neste sentido, parece razoável inferir que as quantidades de componentes fibrosos nas forrageiras avaliadas não podem ser vistas como limitadoras, principalmente quando associadas aos altos coeficientes de digestibilidade encontrados para o período seco do ano, o que só foi possível por serem pastos de primeiro ano, condição comumente associada aos sistemas integrados que possibilitam a contínua renovação das áreas de pastagens. Além disso, como os bovinos pastejam seletivamente folhas, existe a possibilidade de os resultados superarem aqueles esperados e baseados na composição química das plantas.

No presente trabalho, as cultivares de *Urochloa* spp. apresentaram elevada DIVMS ( $627 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ), valor similar à média ( $626 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) registrada para o capim que mais se destacou (“BRS Tamani”), quando cultivado em sucessão à soja, no período seco (Dias et al., 2021). O híbrido “1242-10” ( $677 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) apresentou 8.77 e 24.9% a mais de DIVMO em relação às forrageiras do gênero *Urochloa* spp. e à “BRS Sarandi”, respectivamente. Euclides et al. (2018) encontraram DIVMO similar ( $680 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) para folhas do híbrido “BRS Ipyporã”, o que realça o elevado valor nutritivo do capim “1242-10”. Isso pode ser traduzido em alta quantidade de nutrientes digestíveis totais, o que é altamente favorável ao desempenho animal. Esse comportamento do genótipo “1242-10” é suportado por ser uma das forrageiras que apresentou a maior concentração de PB, as menores concentrações de FDNp e FDAp em todos os cortes e a menor concentração de lignina, achados que podem ser explicados devido ao baixo crescimento dessa gramínea. Sob essas condições favoráveis, os microrganismos ruminais podem degradar e

fermentar mais facilmente os componentes da parede celular vegetal, sua principal fonte de energia para crescimento e multiplicação, o que resulta em melhor desempenho animal.

Os minerais desempenham funções condicionantes na fisiologia dos microrganismos ruminais e de seu hospedeiro. Dados sobre a concentração mineral de diferentes forrageiras são úteis no planejamento alimentar do rebanho, podendo reduzir custos com o fornecimento e a formulação de suplementos minerais. O P pode ser considerado o elemento de maior custo nas misturas minerais. Em geral, as regiões brasileiras de Cerrado possuem solo deficiente nesse elemento. No entanto, com o desenvolvimento de tecnologias e o avanço da exploração dessas áreas, essa deficiência vem sendo corrigida com o uso de fertilizantes. A adoção dessas tecnologias vem impactando positivamente a produção e a composição das forrageiras, o que é favorável ao pastejo de bovinos, animais com alta capacidade de selecionar folhas, fração vegetal de alto valor nutritivo.

As forrageiras “BRS Integra”, “Kennedy” e “1242-10” tiveram as maiores concentrações de P e Ca, o que significou em média 31.7% e 37.0% a mais em relação as concentrações médias desses minerais verificadas para as demais forrageiras, com exceção da cultivar “Basilisk”. A concentração média ( $1.02 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) de P das gramíneas forrageiras avaliadas tem potencial para suprir aproximadamente 58.9% a exigência de um bovino macho castrado a pasto ( $10.9 \text{ g dia}^{-1}$ ) com 330 kg de peso corporal médio, consumindo  $6.30 \text{ kg de MS dia}^{-1}$  e com  $0.600 \text{ kg}$  ganho de peso médio diário (Valadares-Filho et al., 2023). Por outro lado, as concentrações de Ca verificadas em todas as forrageiras suprem suficientemente a exigência ( $15.8 \text{ g dia}^{-1}$ ) desse mesmo animal, sem a necessidade de suplementação. Nesse sentido, a suplementação com 41.1% da exigência de P é capaz de suprir a demanda dos animais. Como geralmente as misturas minerais comerciais apresentam elevadas concentrações de alguns elementos, especialmente de Ca, esses resultados indicam a necessidade de formulações específicas para esses sistemas de produção, o que pode significar a possibilidade de economia de recursos para o produtor.

#### **4.3 Biomassa de cobertura e ciclagem de nutrientes**

A produção de biomassa dos genótipos “R86”, “254-1”, “BRS Sarandi” e “Basilisk” evidenciou a capacidade de rebrotação dessas plantas após a uniformização da área. Esses capins produziram quantidades semelhantes de biomassa, superando em 89.8% a quantidade produzida

pelas forrageiras “Kennedy” e “1242-10” (3083 vs. 1625 kg MS ha<sup>-1</sup>). Capins tropicais dos gêneros *U. decumbens* (“R86”, “254-1”, e “Basilisk”) e *A. gayanus* (“BRS Sarandi”) são bem adaptados aos solos pobres, ácidos e de baixa fertilidade e tolerantes aos prolongados períodos de estiagem (Machado et al., 2020; Sousa et al., 2010). Essas gramíneas forrageiras também apresentam rápida rebrotação na transição seca-águas após as primeiras chuvas. Tais características explicam o acúmulo de biomassa dessas plantas em apenas 50 dias de rebrote com precipitação pluvial acumulada de 115 mm. Por outro lado, cultivares como a *U. ruziziensis* cv. Kennedy são mais sensíveis à estiagem, o que resulta em baixo desenvolvimento durante o período seco (Maia et al., 2014).

Gramíneas forrageiras são amplamente utilizadas como plantas de cobertura em sistemas de produção agrícolas que utilizam o SPD, onde os resíduos culturais que permanecem no solo após a colheita da cultura principal, provêm cobertura ao solo e nutrientes para as culturas subsequentes ou integradas. A quantidade de biomassa produzida pela forrageira tem grande relevância em garantir adequada cobertura de solo para a implantação do SPD. Os capins “R86”, “254-1”, “BRS Sarandi” e “Basilisk” produziram biomassa em quantidade que possibilita a implementação desse sistema (3083 kg MS ha<sup>-1</sup>). Dias et al. (2020) relataram valores relativamente próximos para a produção de biomassa das gramíneas forrageiras “Kennedy” (3137 kg MS ha<sup>-1</sup>) e “Mombaça” (3992 kg MS ha<sup>-1</sup>). Entretanto, Dias et al. (2020); Muniz et al. 2021; Silva et al. (2024) observaram maior quantidade de biomassa produzida pelos capins “Xaraés” (5580 e 6779 kg MS ha<sup>-1</sup>), “BRS Tamani” (4302 e 4572 kg MS ha<sup>-1</sup>), “BRS Paiaguás” (4898 e 5951 kg MS ha<sup>-1</sup>), “Marandu” (5143 kg MS ha<sup>-1</sup>), “BRS Piatã” (5366 kg MS ha<sup>-1</sup>) e “BRS Ipyporã” (4450 kg MS ha<sup>-1</sup>), mas cultivados em áreas com histórico prévio de aproximadamente seis anos de integração, com precipitação pluvial média de 46.6 mm durante um período médio de 44 dias de rebrotação. Especialmente nos trabalhos de Dias et al. (2020) e Muniz et al. (2021), houve a participação de animais pastejando durante o período seco, o que foi benéfico ao crescimento e desenvolvimento dos capins.

Apesar de ter produzido baixa quantidade de biomassa, o genótipo “1242-10” apresentou alta concentração de N, a qual superou em 19.4% a concentração de N na biomassa dos capins “Basilisk”, “BRS Integra” e “Kennedy” e em 82.2% o capim “BRS Sarandi”. Este capim, por sua vez, teve a menor concentração de N na biomassa em relação às outras forrageiras avaliadas. O

tecido foliar vegetal concentra grande parte do N (Soares et al., 2009; Irving., 2015). Quanto maior a proporção de folhas em relação a hastes, maior a concentração de N na biomassa produzida. Tal argumento pode explicar a alta concentração de N verificada na biomassa do híbrido “1242-10” que mantém boa composição química durante a estação seca do ano devido ao pequeno alongamento de colmos e à boa produção de folhas, o que provavelmente lhe confere alta relação folha:haste. O capim “BRS Sarandi” (Braga et al., 2024) pode apresentar menor relação folha:haste em relação às forrageiras do gênero *Urochloa* spp. (Dias et al., 2021), principalmente em sua fase reprodutiva, onde as hastes predominam em relação às folhas. No presente estudo, este capim apresentou as maiores concentrações de compostos fibrosos (FDNp e FDAp) e a menor concentração de N na biomassa inicial quando comparado às outras forrageiras. Tal resultado sugere baixa proporção de folhas em detrimento às frações fibrosas, o que provavelmente explica a menor concentração de N encontrada.

A decomposição da biomassa de cobertura é um processo biológico que depende da temperatura, umidade do solo, propriedades do solo, estrutura e composição da microbiota do solo, relação C:N ou lignina:N e da composição química dos resíduos culturais (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). A biomassa das forrageiras apresentou bom equilíbrio entre ciclagem e permanência de resíduos remanescentes na superfície do solo, os quais proporcionaram sua cobertura durante todo o ciclo da soja (120 dias). A relação lignina:N não diferiu entre as forrageiras; entretanto, provavelmente a alta participação de hastes na relação folha:colmo do capim “BRS Sarandi”, sugerida pelas maiores concentrações de FDNp e FDAp na biomassa inicial em relação aos outros capins, elevou o tempo de meia-vida para a decomposição de sua biomassa. A relação lignina:N foi em média 1.76; no entanto, Carvalho et al. (2012) observaram valores relativamente menores para a relação lignina:N (0.81 e 0.90) na biomassa do capim “Kennedy” nas respectivas fases: florescimento e maturação. A temperatura é um fator relevante na decomposição dos restos culturais deixados na superfície do solo (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). Para regiões de clima tropical, especialmente as áreas de Cerrado brasileiro, onde a elevada temperatura acelera a decomposição, a maior relação lignina:N nos restos culturais reduz a taxa de decomposição, o que mantém o solo coberto, mais úmido, química e biologicamente mais ativo.

A textura e a profundidade do solo, a topografia e as condições de clima, como a temperatura e a umidade do solo, entre outros, coordenam o fluxo de nutrientes nos sistemas

integrados (Baptistella et al., 2020). O N é o segundo nutriente mais demandado pelas plantas e geralmente tem alto acúmulo na biomassa (Costa et al., 2017). Este também é um dos principais nutrientes que limita o crescimento e o desenvolvimento de gramíneas forrageiras (Buchelt et al., 2020). É componente estrutural das moléculas de proteínas e clorofila, estando envolvido na formação de tecidos vegetais, na pigmentação de folhas e na atividade fotossintética (Buchelt et al., 2020). As forrageiras do gênero *U. decumbens* acumularam grande quantidade de N na biomassa, o que também está relacionado à alta produção de fitomassa. O capim “BRS Sarandi” produziu alta quantidade de biomassa, mas sua provável menor relação folha:haste pode ter resultado em baixa concentração de N comparado com os outros capins avaliados. As hastes contêm alta quantidade de compostos de parede celular secundária lignificados e estes polifenóis dificultam o acesso das enzimas microbianas aos substratos potencialmente degradáveis, o que retarda a decomposição e prolonga o tempo de meia-vida do material que permanece na superfície do solo por mais tempo. A lignina é um composto de difícil decomposição e é degradada por enzimas microbianas como a lacase e a tirosinase (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). Bactérias dos gêneros *Azotobacter*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas* e *Agrobacterium* e fungos dos gêneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. e *Chaetomium* sp. sintetizam essas enzimas. Entretanto, a degradação desses polifenóis envolve a participação de fungos, especialmente ascomicetos (*Xylaria* sp., *Hypoxylon* sp. e *Libertella* sp.) e basidiomicetos (*Trametes versicolor* e *Phanerochaete chrysosporium*) (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020).

Provavelmente a alta proporção de hastes na biomassa do capim “BRS Sarandi” explica os prolongados tempos de meia-vida, especialmente para os nutrientes N, S, P e Ca. Esse resultado evidencia a baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas de soja durante o seu ciclo (120 dias); entretanto, indica que a biomassa desse capim é uma fonte de reserva de nutrientes que podem suprir parcialmente as exigências nutricionais das culturas em sucessão à soja.

Os fatores genéticos, edafoclimáticos e ambientais determinam a absorção de nutrientes pelas plantas. As plantas absorvem os nutrientes em quantidades proporcionais ao seu acúmulo de massa seca, a concentração nos grãos e a quantidade exportada (Oliveira Junior et al., 2020). A exigência de N para a planta de soja é de aproximadamente 79.4 kg ha<sup>-1</sup> t de grãos produzidos (Oliveira Junior et al., 2020). Observou-se que, em 120 dias, foram cicladas quantidades de N equivalentes a 23.3; 44.0; 33.6; 27.1; 17.2; 21.0 e 44.5 kg ha<sup>-1</sup> na biomassa das respectivas



forrageiras “1242-10”, “251-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “BRS Sarandi”, “Kennedy” e “R86”. A quantidade de N liberada da biomassa das forrageiras supre parcialmente a exigência das plantas de soja; entretanto, especialmente os genótipos “251-1” e “R86” liberaram quantidades de N equivalentes a 37.9% da exigência para produzir uma tonelada de grãos da oleaginosa. No entanto, estima-se que a fixação biológica do nitrogênio atmosférico no solo forneça 70-80% da exigência de N da planta de soja (Santos et al., 2013). Portanto, a quantidade de N que ciclou da biomassa das forrageiras avaliadas pode contribuir para suprir significativamente as exigências da soja.

Para o aproveitamento adequado dos nutrientes que ciclam da decomposição dos resíduos culturais sua liberação deve coincidir com a demanda da planta. A fase de maior exigência da soja ocorre aos 60-80 dias após sua germinação, quando os nutrientes deveriam estar prontamente disponíveis na solução do solo (Davi et al., 2022); entretanto, alta absorção de macronutrientes por essas plantas ocorre entre 39 e 58 dias após sua germinação (Muniz et al., 2021). Por essas razões, a biomassa dos capins pode ser considerada reserva de nutrientes para o suprimento das exigências das culturas em sucessão à soja.

Os percentuais de P liberados da biomassa durante os 120 dias foram de 69.8, 79.2, 65.3, 65.4, 64.6, 68.2 e 48.0% para as forrageiras “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi”, respectivamente. O P é um macronutrientes essencial e está envolvido em reações de transferência de energia e na divisão celular, podendo ser encontrado associado aos lípides (fosfolípidos) e ácidos nucleicos (RNA e DNA), assim como na forma de fitatos (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). No entanto, está entre os nutrientes com menor disponibilidade para as plantas (Baptistella et al., 2020). Os restos de cultura têm grande quantidade de P inorgânico (Baptistella et al., 2020), que pode ou não ser disponibilizado para a absorção das plantas, sendo sua liberação dependente da ação microbiana (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). Entre os macrominerais, o P foi o elemento em menor concentração e quantidade na biomassa das forrageiras. Dias et al. (2020) e Silva et al. (2024) encontraram concentrações de P de 2.17 e 2.22 g kg<sup>-1</sup>, valores relativamente superiores à média observada no presente estudo 1.20 g kg<sup>-1</sup>. A área experimental tem características típicas de Cerrado, com baixa fertilidade natural e sem histórico prévio de cultivos agrícolas, o que possivelmente contribuiu para os baixos valores de P verificados na biomassa das gramíneas forrageiras. No presente estudo, a biomassa das forrageiras liberou cerca de 4.64 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 120 dias, o equivalente a 30.9%

da exigência ( $15 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ) para se produzir uma tonelada de grãos de soja (Sousa et al., 2016; Oliveira Junior et al., 2020).

Com exceção da cultivar “BRS Sarandi”, o tempo de meia-vida do P foi em média 72 dias, valor próximo ao encontrado por Dias et al. (2020) na biomassa do capim “Mombaça” (76 dias). Para esses autores, o P tem longo tempo de meia-vida devido à sua participação na formação de componentes estruturais do tecido vegetal, sendo sua liberação dependente da ação microbiana. Mesmo concentrado na biomassa residual, o P não está prontamente disponível para as culturas em sucessão (Costa et al., 2017). De acordo com Baptistella et al. (2020), o fosfato ionizado ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) é a principal forma absorvida pelas raízes. As plantas têm mecanismos para aumentar o uso de formas indisponíveis de P no solo, tal como a liberação de excesso de prótons, ácidos orgânicos e enzimas. A alta quantidade de raízes em cabeleira dessas plantas liberam a enzima fosfatase ácida que torna o fosfato inorgânico disponível para a absorção das plantas. Além disso, essas raízes liberam ácidos orgânicos como cítrico, oxálico e málico que auxiliam na mobilização do P inorgânico do solo. Portanto, a introdução de gramíneas forrageiras em sistemas integrados possibilita aumentar a disponibilidade de P para a absorção das plantas.

O K é o nutriente mais absorvido e o terceiro nutriente mais limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Buchelt et al., 2020). Apesar de ser o nutriente de maior concentração no tecido vegetal (Costa et al., 2017), é altamente móvel nos solos de regiões tropicais (Davi et al., 2022). Esse macromineral está envolvido na regulação da abertura de estômatos, na condução de fotoassimilados pelo floema das plantas, na manutenção do potencial de membrana celular, na síntese de ácidos nucleicos, carboidratos e proteínas e, especialmente na ativação de uma série de enzimas (Buchelt et al., 2020). Uma elevada quantidade de K ciclou da biomassa das forrageiras em 120 dias o equivalente a 96.2, 97.0, 96.2, 96.4, 96.3, 95.1 e 92.7% para as gramíneas “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi”, respectivamente. Isso significa que somente 4.30% do K permaneceu na biomassa remanescente ao final de 120 dias. O K apresenta rápida liberação e curto tempo de meia-vida por ser um elemento fracamente associado aos compostos orgânicos (Davi et al., 2022) e ser predominantemente encontrado na forma de cátions livres de alta mobilidade, os quais são facilmente drenados após a ruptura da membrana celular (Muniz et al., 2021). O K é um macromineral prontamente disponível para a absorção das plantas e sua liberação é relativamente dependente da ação microbiana.

No presente estudo, o tempo de meia-vida para o K foi em média 16 dias. Dias et al. (2020), Muniz et al. (2021) e Silva et al. (2024) avaliaram a dinâmica de decomposição e a ciclagem de nutrientes da biomassa de gramíneas forrageiras e reportaram tempo de meia-vida mais prologado para o K, o qual foi em média 25 dias. Nesses trabalhos, a precipitação pluvial foi em média 207 mm nos primeiros 30 dias de exposição dos *litter bags* no campo; entretanto, no presente estudo, a precipitação pluvial foi de 272 mm, o que provavelmente acelerou a ciclagem do K e provocou encurtamento do seu tempo de meia-vida.

Nos primeiros 30 dias de decomposição o K tem liberação acelerada. A biomassa das forrageiras liberaram em média 33.4 kg ha<sup>-1</sup> de equivalente K<sub>2</sub>O durante o ciclo da soja. Essa quantidade de K<sub>2</sub>O liberada equivale a 56.8% da exigência para se produzir uma tonelada de grãos de soja (58.8 kg ha<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>) (Oliveira Junior et al., 2020), o que ressalta o grande potencial dos restos culturais de suprirem nutrientes às culturas anuais por ocasião da decomposição. Esses parâmetros são úteis, especialmente para orientar as recomendações de fertilização das culturas e, certamente as práticas agrícolas; entretanto, devem ser avaliados com cautela. Parte dos nutrientes que ciclam da biomassa são perdidos na forma de gases durante as transformações químicas, como nutrientes incorporados à biomassa microbiana do solo e pela lixiviação. Especialmente para os nutrientes N e K, estima-se perdas de aproximadamente 50% (Baptistella et al., 2020 e Oliveira Junior et al., 2020). De acordo com Baptistella et al. (2020), muitos estudos se concentraram em avaliar a produção de biomassa das gramíneas forrageiras em sistemas integrados; entretanto, o grande potencial desses genótipos como plantas de cobertura ou biomassa residual reside em suas raízes.

A fase inicial de desenvolvimento das culturas é crítica para as perdas de N, pois as plantas apresentam raízes ainda pouco desenvolvidas e com menor capacidade de explorar grandes frações de solo (Baptistella et al., 2020). As principais perdas de N na agricultura ocorrem por nitrato lixiviado, escoamento, erosão de solo, desnitrificação e volatilização, sendo esta última mais comum em sistemas que utilizam ureia como fertilizante nitrogenado. A nitrificação consiste na conversão microbiana do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). A desnitrificação, por sua vez, ocorre quando o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é utilizado comoceptor final de elétrons durante a respiração, o qual gera compostos voláteis como o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). O cultivo de gramíneas forrageiras em sistemas integrados reduz parcialmente essas perdas. As raízes dessas plantas secretam exsudatos (Brachialactone) capazes de inibir a nitrificação, processo no qual se

denomina inibição da nitrificação biológica (Baptistella et al., 2020). Durante a decomposição dos resíduos remanescentes deixados na superfície do solo ocorre liberação desses inibidores, os quais favorecem as culturas subsequentes com a redução das perdas de N. Além da liberação dos exsudatos, as raízes têm potencial de aumentar a disponibilidade de nutrientes das regiões mais profundas do solo para as plantas em cultivo na superfície.

Diversas enzimas e a clorofila dos vegetais têm o Mg em sua composição (Buchelt et al., 2020). O Mg é o terceiro nutriente em maior concentração nos tecidos vegetais (Costa et al., 2017). Quando a quantidade de Mg na biomassa remanescente aos 120 dias foi comparada com a inicial observou-se que das respectivas biomassas “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi” ciclaram 75.5, 82.1, 69.3, 74.2, 76.3, 72.1 e 76.2%. Isso significa que aproximadamente 75.1% do Mg ciclou da biomassa dessas forrageiras em curto período de tempo, considerando-se um tempo de meia-vida médio de 39 dias. Geralmente 70% do Mg é liberado da biomassa, sendo rapidamente disponível para a cultura subsequente por ser um macromineral presente nos vacúolos celulares; entretanto, os 30% restantes, por fazerem parte de componentes estruturais das plantas, têm lenta e gradual liberação (Costa et al., 2017).

O S participa da formação de aminoácidos, como cistina, cisteína e metionina, os quais formam proteínas com funções enzimáticas e estruturais nas plantas (Buchelt et al., 2020). É também um macromineral envolvido na síntese dos glucosinolatos (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). Os aminoácidos que contêm S são rapidamente degradados por microrganismos (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020), o que explica a liberação média de 64.0% da quantidade de S na biomassa das gramíneas forrageiras em 120 dias. Por outro lado, quando comparado com o N e o K, o S apresentou ciclagem mais moderada. No entanto, isto é favorável, pois o S é um ânion divalente que pode facilmente ser lixiviado; entretanto, sua decomposição gradual é benéfica aos sistemas agrícolas, especialmente para aumentar a eficiência de seu uso pelas plantas (Davi et al., 2022).

O Ca foi o macromineral que ciclou em menor quantidade e com prolongado tempo de meia-vida. A quantidade de Ca liberada da biomassa dos capins “1242-10”, “254-1”, “Basilisk”, “BRS Integra”, “R86”, “Kennedy” e “BRS Sarandi”, durante os 120 dias de ciclo da soja, foi de 48.7, 60.1, 50.9, 45.1, 57.4, 43.0 e 33.0% em relação à quantidade inicial, respectivamente. O S e o Mg ciclaram rapidamente quando comparados com o Ca por serem parte de aminoácidos sulfurados

(Muniz et al., 2021). O Ca acumula em grandes quantidades nos tecidos vegetais; entretanto, somente 30% do Ca acumulado nos restos culturais é lentamente liberado pela decomposição, pois este macromineral é componente da parede celular vegetal e também atua como cofator de enzimas que participam da respiração celular, o que dificulta sua liberação (Costa et al., 2017). Na parede celular o  $\text{Ca}^{+2}$  se liga à pectina formando os pectatos de Ca, polissacarídeos que conferem firmeza à essa estrutura celular (Buchelt et al., 2020); no entanto, dificulta a degradação microbiana e, certamente a decomposição.

A biomassa das gramíneas forrageiras liberou em média 8.38, 2.35 e 5.26 kg ha<sup>-1</sup> dos respectivos macronutrientes Mg, S e Ca, durante 120 dias de avaliação. Mesmo que não houvessem perdas e que as plantas utilizassem integralmente esses nutrientes, sua contribuição seria parcial em suprir as exigências das plantas de soja. Para cada tonelada de grãos produzidos, são exigidos aproximadamente 11.0, 4.23 e 22.0 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, S e Ca, respectivamente (Oliveira Junior et al., 2020). Entretanto, as culturas subsequentes têm grande potencial de aproveitamento desses nutrientes. Além disso, o retorno desses nutrientes ao solo contribui para melhorias progressivas na sua fertilidade.

A ordem decrescente de quantidades de nutrientes acumulados e liberados da biomassa das forrageiras foi N, K, Mg, Ca, S, P. Comparado com outros nutrientes, o N e o K são extraídos em grandes quantidades pelas raízes das plantas, por esse motivo, têm maior proporção relativa na biomassa. Por outro lado, são nutrientes facilmente lixiviados, principalmente em solos profundos, o que certamente dificulta o acesso pelo sistema radicular superficial e escasso das mais comuns culturas anuais (Baptistella et al., 2020). No entanto, como as gramíneas forrageiras têm sistema radicular vigoroso, profundo, agressivo e abundante, essas plantas beneficiam as culturas em sucessão, disponibilizando nutrientes na superfície do solo (Dias et al., 2020).

A ciclagem dos nutrientes da biomassa residual deixada sobre a superfície do solo não dispensa o uso de fontes externas de fertilizantes. Tal processo deve ser entendido como uma devolução parcial dos nutrientes absorvidos da solução do solo pelas raízes da cultura que originou o resíduo em cobertura. Parte desses nutrientes poderia estar indisponível para as culturas anuais, uma vez que sua liberação pode não estar em sincronia com a demanda fisiológica da planta. Mesmo liberados da biomassa, a disponibilização de alguns desses nutrientes para as plantas, tal como o P, depende da ação microbiana e de enzimas e ácidos liberados na solução do solo. Além

disso, parte desses nutrientes podem se perder em função de sua alta mobilidade nos solos, como é o caso do K, e por outros processos, tal como a lixiviação e a volatilização. Entretanto, esses nutrientes têm potencial para reduzir a quantidade de fertilizantes necessários para se alcançar os objetivos produtivos, especialmente em áreas onde o uso da integração entre culturas anuais e plantas de cobertura é contínuo. Neste sentido, a ciclagem de nutrientes pode ser entendida como um processo no qual possibilita a formação gradativa de um banco de nutrientes no solo, o que certamente pode ser útil, especialmente nos momentos de alta de preços das fontes de fertilizantes externos.

O conhecimento da quantidade de nutrientes ciclados e transformados em equivalente fertilizante é importante para os programas de fertilização, pois a quantidade de nutrientes liberada pode ser contabilizada para as recomendações de fertilização das sucessivas culturas. Geralmente os fertilizantes externos têm alto custo, o que onera o custo de produção das lavouras; entretanto, o uso contínuo de plantas de cobertura e a decomposição de seu residual pode amortizar parte desses custos. A quantidade de equivalentes em fertilizantes produzida pela biomassa é função da concentração dos nutrientes, mas especialmente da quantidade de biomassa produzida. Isso foi evidenciado pela forrageira “254-1” que produziu a maior quantidade de fertilizante equivalente (N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ ). De forma intermediária, o capim “R86” também se destacou para essa variável; entretanto, as gramíneas forrageiras “BRS Integra” e “1242-10” produziram baixas quantidades de equivalentes em fertilizantes, o que não significa uma limitação de seu uso. Altas quantidades de equivalentes em fertilizantes (N e  $K_2O$ ) foram verificadas na biomassa das forrageiras quando comparadas com o fertilizante  $P_2O_5$ , o que é reflexo da concentração e liberação dos nutrientes na biomassa. As quantidades médias de equivalentes em fertilizantes liberadas durante os 120 dias de avaliação, se transformadas em equivalente R\$, representam cerca de R\$ 410 ha<sup>-1</sup>, valor que anualmente pode retornar ao solo na forma de nutrientes, desconsiderando-se as prováveis perdas.

A quantidade de nutrientes liberados pela biomassa das forrageiras não supre integralmente a demanda total das culturas no consórcio ou em sucessão, mas pode preencher grande parte dessa demanda. Por outro lado, geralmente ocorre falta de sincronia entre a ciclagem dos nutrientes e o nível de exigência da planta de acordo com o seu estágio fisiológico. Nos estágios iniciais da decomposição, a biomassa ainda muito úmida e rica em substratos, tem acelerada decomposição (Davi et al., 2022). No entanto, esse estágio coincide com o início do ciclo da cultura, quando o

seu sistema radicular é ainda pouco desenvolvido e insuficiente para absorver todos os nutrientes liberados para o solo, o que contribui para a sua baixa utilização (Baptistella et al., 2020). Entretanto, o uso de plantas de cobertura representa um caminho para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes, especialmente devido o papel das raízes (Baptistella et al., 2020), no qual em longo prazo, pode gerar economia no uso de fertilizantes, condição que também beneficia o meio ambiente.

Embora as plantas tenham em sua composição componentes similares como proteínas, celulose, hemiceluloses, lignina, amido, lipídeos e polifenóis, esses constituintes variam em proporção, o que certamente impacta a taxa de decomposição dos resíduos (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska, 2020). Isso explica parcialmente as diferenças encontradas entre as gramíneas forrageiras avaliadas para a decomposição da biomassa e a ciclagem dos nutrientes. No entanto, essas forrageiras apresentaram adequada produção de biomassa com bom padrão de decomposição, especialmente as novas cultivares “BRS Integra”, “BRS Sarandi”, as forrageiras do gênero *U. decumbens*, “254-1” e “R86” e a *Urochloa* híbrida “1242-10”. As gramíneas forrageiras “BRS Sarandi”, “254-1” e “R86” demonstraram bom potencial para produção de biomassa. Por outro lado, excluindo-se o capim “BRS Sarandi” e incluindo a cultivar “BRS Integra”, todos esses novos genótipos tiveram curtos tempos de meia-vida para a decomposição da biomassa e a ciclagem dos nutrientes. Portanto, isso indica que esses capins podem ser estrategicamente utilizados de diferentes formas para atender a demanda nos sistemas de produção integrados.

#### **4.4 População de plantas, características agronômicas e produtividade da soja**

O período de dessecação da biomassa de cobertura pode prejudicar a semeadura da soja, e certamente seu desempenho agrônomo. Durante a semeadura, o excesso de palhada úmida pode provocar o deslizamento da máquina, assim como seu entupimento e impactar negativamente a plantabilidade. De acordo com Dias et al. (2020), esta é a principal justificativa para a resistência dos produtores de soja em utilizar forrageiras com crescimento cespitoso e com alta capacidade produtiva como plantas de cobertura em sistemas integrados; entretanto, tal justificativa não se aplica às condições do presente estudo. A cultivar “BRS Sarandi” tem hábito de crescimento cespitoso e alta capacidade de produção, mas não interferiu negativamente no desempenho da soja cultivada sobre sua biomassa, o que indica ser também uma boa opção para uso como planta de cobertura para o SPD.

As plantas de soja variam em altura média e de inserção da primeira vagem de acordo com o genótipo, mas têm determinada plasticidade em alterar essas métricas em função das variações ambientais (Franchini et al., 2014). A altura média das plantas e de inserção da primeira vagem foram de 0.938 e 0.173 m, respectivamente. Leal et al. (2024) encontraram altura similar (0.932 m) para plantas de soja cultivadas sobre a palhada das gramíneas “Kennedy”, “Xaraés” e “BRS Quênia”, também sem diferenças significativas entre os sistemas de cultivo. Do mesmo modo, Muniz et al. (2021) relataram valor similar para a altura de inserção da primeira vagem (0.155 m) de soja cultivada sobre a palhada de gramíneas forrageiras “BRS Paiaguás” e “BRS Tamani”. A altura de inserção da primeira vagem tem relação com o rendimento de grãos, uma vez que os valores abaixo de 0.155 m podem dificultar o ajuste da plataforma da colhedeira e resultar em maiores perdas de grãos. Entretanto, esse não foi um fator de risco para a perda de grãos de soja durante a colheita no presente estudo, pois as plantas da leguminosa alcançaram altura acima do valor mínimo recomendado.

O número de vagens planta<sup>-1</sup> e de plantas ha<sup>-1</sup>, o peso de 1000 grãos e a produtividade não diferiram entre os sistemas de cultivo. Valores similares foram observados por Tanaka et al. (2019) 33.0 vagens planta<sup>-1</sup> e 332 mil plantas ha<sup>-1</sup> para soja cultivada sobre a palhada das cultivares “Kennedy” e “Marandu”, enquanto Leal et al. (2024) verificaram peso de 1000 grãos de 0.185 kg. Em relação a produtividade de grãos de soja, diversos estudos reportaram médias de pelo menos 4 mil kg de grãos ha<sup>-1</sup> (Leal et al., 2024; Silva et al., 2025, 2022), valor relativamente próximo ao encontrado no presente estudo (3908 kg ha<sup>-1</sup>). Isso mostra que o cultivo da soja sobre a biomassa das forrageiras avaliadas não impactou negativamente a população de plantas, as características agronômicas e a produtividade de grãos de soja, sugerindo que esses genótipos podem, seguramente, ser utilizados como plantas de cobertura para a produção de biomassa em sistema de produção integrado.

## 5. CONCLUSÃO

As gramíneas forrageiras estabeleceram-se adequadamente no consórcio com o milho durante a safra na região do Cerrado. Os genótipos apresentaram diferenças nas características agronômicas, no valor nutritivo, na quantidade de palhada produzida, bem como na dinâmica de decomposição da biomassa e na ciclagem de nutrientes. No entanto, a palhada acumulada não afetou as características agronômicas nem a produtividade da soja. Portanto, os genótipos avaliados



demonstram potencial para uso na alimentação animal e como plantas de cobertura, especialmente as novas forrageiras em teste nos programas de melhoramento genético, como “BRS Sarandi”, “R86” e “254-1”, os quais se destacam como alternativas promissoras para uso em sistemas de produção na região do Cerrado.

## REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

ALMEIDA, O. G. DE et al. Forage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency on rotationally stocked “Zuri” guineagrass pastures as affected by pre-graze canopy height and N rate. *Grass and Forage Science*, v. 79, p. 308–317, 2024.

ALMEIDA, O. G. DE et al. Stocking method effects on forage accumulation, canopy attributes, and nutritive value of grazed Mulato II brachiariagrass pastures. *Grass and Forage Science*, v. 78, p. 288–295, 2023.

ALVARES, C. A. et al. Koppen’s climate classification map for Brazil. In: *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, p. 711–728, 2014.

ANDRADE, C. A. O. DE et al. Forage production and bromatological composition of forage species intercropped with soybean. *Journal of Agricultural Science*, v. 12, p. 84, 2020.

AOAC. Method 2001.11. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18. ed. Gaithersburg, 2005.

AOAC. Moisture in animal feed, Method 930.15. *Official methods of analysis of AOAC International*. 16. ed. Gaithersburg, 1996.

AOAC. Moisture in animal feed, Method 942.05. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18. ed. Gaithersburg, 2006.

BAPTISTELLA, J. L. C. et al. *Urochloa* in tropical agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, 2020.

BARGO, F. et al. Invited review: production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, v. 86, p. 1–42, 2003.

BRAGA, G. J. et al. Canopy characteristics of Gamba grass cultivars and their effects on the weight gain of beef cattle under grazing. *Agronomy*, v. 14, 2024.

BUCHELT, A. C. et al. Silicon contribution via nutrient solution in forage plants to mitigate nitrogen, potassium, calcium, magnesium, and sulfur deficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 20, p. 1532–1548, 2020.

BUXTON, D. R.; RUSSELL, J. R. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. *Crop Science*, v. 28, p. 553–558, 1988.

CARVALHO, A. M. et al. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. *Crop and Pasture Science*, v. 63, p. 1075–1081, 2012.

CARVALHO, M. A. et al. BRS Sarandi: nova cultivar de *Andropogon gayanus* para pastagens. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal. Circular técnica, v. 52, 2021.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Boletim da safra de grãos. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 13 dez. 2024.

COSTA, R. R. G. et al. Nutrients cycling and accumulation in Pearl Millet and Paiaguas palisadegrass biomass in different forage systems and sowing periods. *Revista Scientia Agrária*, v. 18, p. 166–178, 2017.

DAVI, J. E. A. et al. Diversified production systems in sandy soils of the Brazilian Cerrado: nutrient dynamics and soybean productivity. *Journal of Plant Nutrition*, v. 46, p. 1650–1667, 2022.

DETMANN, E. et al. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*, v. 162, p. 141–153, 2014a.

DETMANN, E. et al. Métodos para análise de alimentos-INCT-Ciência Animal. 2ª ed. Visconde do Rio Branco, Minas Gerais: Suprema, p. 1-350, 2021.

DETMANN, E. et al. Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. *Livestock Science*, v. 126, p. 136–146, 2009.

DETMANN, E. et al. What is the impact of neutral detergent fibre digestibility on productive performance of beef cattle fed tropical forages? *Livestock Science*, v. 290, p. 105608, 2024.

DETMANN, E.; GIONBELLI, M. P.; HUHTANEN, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, v. 92, p. 4632–4641, 2014b.

DIAS, M. B. D. C. et al. Protein and carbohydrate fractionation of *Urochloa* spp. and *Megathyrsus maximus* forages after intercropping with soybean in an integrated crop-livestock system. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2023.

DIAS, M. B. DE C. et al. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. *Journal of Agricultural Science*, v. 158, p. 206–217, 2020.

DIAS, M. B. DE C. et al. Cattle performance with *Brachiaria* and *Panicum maximum* forages in an integrated crop-livestock system. *African Journal of Range and Forage Science*, v. 39, p. 230–243, 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Doc. 402. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil. 2014. Disponível em: <  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.SPdf>>. Acesso em: 06 dez. 2024.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, 2018.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Steer performance on *Panicum maximum* (cv. Mombaça) pastures under two grazing intensities. *Animal Production Science*, v. 56, p. 1849–1856, 2016.

FORBES, J. M. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Oxon, UK: CAB International, 1995.

FRANCHINI, J. C. et al. Intercropping of soybean cultivars with *Urochloa*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, p. 119–126, 2014.

GRZYB, A.; WOLNA-MARUWKA, A.; NIEWIADOMSKA, A. Environmental factors affecting the mineralization of crop residues. *Agronomy*, v. 10, 2020.

GUARNIERI, A. et al. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, p. 1185–1198, 2019.

HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 1791–1794, 1999.

IRVING, L. J. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. *Agriculture*, v. 5, p. 116–1134, 2015.

JUNG, H. G.; ALLEN, M. S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2774–2790, 1995.

JUNG, H.-J. G. Forage digestibility: the intersection of cell wall lignification and plant tissue anatomy. Em: III Simpósio internacional avanços em técnicas de pesquisa em nutrição de ruminantes. Pirassununga, SP, 2011.

LEAL, V. N. et al. Grazing effect on different forage species in yield of soybean-pasture succession. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 15, 2024.

LEITE, R. G. et al. Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. *Scientific Reports*, v. 11, 2021.

- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology*, v. 57, p. 347–358, 1996.
- LIMA, M. A. et al. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, v. 74, p. 160–170, 2019.
- MACARI, S. et al. Recria de borregas sob diferentes métodos de pastoreio em azevém anual em sucessão à lavoura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1401–1408, 2011.
- MACHADO, L. A. Z. et al. Establishment of perennial forages intercropped with soybean for integrated crop-livestock systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, p. 521–529, 2017.
- MACHADO, V. D. et al. Grazing management strategies for *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster in a silvopastoral system under rotational stocking. *Grass and Forage Science*, v. 75, p. 266–278, 2020.
- MAIA, G. A. et al. Yield and chemical composition of *Brachiaria* forage grasses in the offseason after corn harvest. *American Journal of Plant Sciences*, v. 5, p. 933–941, 2014.
- MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. *Boletim de Indústria Animal*, v. 76, 2019.
- MCGILLOWAY, D. A.; MAYNE, C. S. The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow. In: GARNSWORTHY, P. C.; WISEMAN, J.; HARESIGN, W. (Eds.). *Recent advances in animal nutrition*. Nottingham: Nottingham University Press, p. 135, 1996.
- MUNIZ, M. P. et al. Soybean yield in integrated crop-livestock system in comparison to soybean-maize succession system. *Journal of Agricultural Science*, v. 159, p. 188–198, 2021.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. et al. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S. et al. *Tecnologias de produção de soja*. 1. ed. Londrina, Paraná: Embrapa Soja, p. 133–184, 2020.
- OLIVEIRA, S. et al. Performance of grain sorghum and forage of the genus *Brachiaria* in integrated agricultural production systems. *Agronomy* 2020, v. 10, p. 1714, 2020.
- OLOGUNDE, O. H.; BELLO, S. K.; BUSARI, M. A. Integrated agricultural system: a dynamic concept for improving soil quality. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2024.
- OWENS, F. N.; QI, P. S.; SAPIENZA, D. A. Invite review: applied protein nutrition of ruminants-current status and future directions. *The Professional Animal Scientist*, v. 30, p. 150–179, 2014.
- PACIULLO, D. S. C. et al. Produção de forragem de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra sob pastejo, ao longo do ano. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, Minas Gerais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 43, 2021.

- PARAISO, I. G. N. et al. Herbage accumulation, nutritive value, and organic reserves of continuously stocked “Ipyporã” and “Mulato II” brachiariagrasses. *Crop Science*, v. 59, p. 2903–2914, 2019.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego: Academic Press, p. 275, 1989.
- PETERSON, C. A.; DEISS, L.; GAUDIN, A. C. M. Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. *PLoS ONE*, v. 15, 2020.
- POLIDORO, J. C. et al. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. 2020. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros/>. Acesso em: 05 fev. 2025.
- PRADO, P. A. P. et al. Efeito de taxas de semeadura sobre produtividade e cobertura de solo de pastos de *Brachiaria ruziziensis* e *Andropogon gayanus* em sucessão à soja no Cerrado do Distrito Federal. In: Encontro de iniciação científica da Embrapa cerrados: jovens talentos, 2023.
- R CORE TEAM. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAYMOND, W. F. The Nutritive Value of Forage Crops. *Advances in agronomy*, v. 21, p. 1–108, 1969.
- ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis. In: JAMES, W. P. T.; THEANDER, O. (Eds.). *The analysis of dietary fiber in food*. New York: Marcel Dekker, p. 123–158, 1981.
- RODRIGUES, P. R. et al. Productive traits and nutritional value of *Urochloa ruziziensis* submitted to different planting densities and defoliation intensities. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 75, p. 1005–1015, 2023.
- SANTOS, A. M. G. DOS et al. Animal performance in grass monoculture or silvopastures using tree legumes. *Agroforestry Systems*, v. 94, p. 615–626, 2020b.
- SANTOS, C. B. et al. Intercropping of sorghum with Paiaguas palisadegrass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, p. 1072–1080, 2020a.
- SANTOS, F. C. et al. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no Cerrado baiano. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 38, p. 1855–1861, 2014.
- SANTOS, H. G. DOS et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, H. P. et al. Rendimento de grãos de soja em diferentes sistemas de produção integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, p. 49–56, 2013.

SILVA, J. A. G. et al. Efficiency of desiccation, decomposition and release of nutrients in the biomass of forage plants of the genus *Brachiaria* after intercropping with sorghum in integrated systems for soybean productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2024.

SILVA, L. M. DA et al. Integrated systems improve soil microclimate, soybean photosynthesis and growth. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, 2025.

SILVA, L. S. et al. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? *Applied Soil Ecology*, v. 170, 2022.

SILVA, V. J. et al. Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of “Mulato II” brachiariagrass. *Crop Science*, v. 56, p. 2054–2061, 2016.

SNIFFEN, C. J.; VAN SOEST, P. J.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, n. 70, p. 3562–3577, 1992.

SOARES, A. B. et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 443–451, 2009.

SOARES, D. DE A. et al. Integrated crop–livestock systems as a strategy for the sustainable production of corn and soybean grain in tropical sandy soils. *Agronomy*, v. 14, p. 2071, 2024.

SOLLENBERGER, L. E.; BURNS, J. C. Canopy characteristics, ingestive behaviour and herbage intake in cultivated tropical grasslands. 19th International Grassland Congress, p. 321–327, 2001.

SOUSA, B. M. DE L. et al. Morphogenetic and structural characteristics of *Andropogon* grass submitted to different cutting heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 2141–2147, 2010.

SOUSA, D. M. G. et al. Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal. Circular Técnica, v. 33, 2016.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA e LOBATO. (Eds.). Cerrado correção de solo e adubação. 2ª ed., p. 147-167, 2004.

SPACKMAN, J. A. et al. Soil texture and precipitation influence optimal time of nitrogen fertilization for corn. *Agronomy Journal*, v. 111, p. 2018–2030, 2019.

TANAKA, K. S. et al. Nutrients released by *Urochloa* cover crops prior to soybean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 113, p. 267–281, 2019.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 25, p. 1351-1361, 1993.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. The Grassland Research Institute, 1963.

VALADARES-FILHO, S. C. et al. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR-Corte. 4. ed. Visconde de Rio Branco, MG: Suprema, 2023. 480 p.

VALLE, C. B. DO et al. BRS Ipyporã (“belo começo” em guarani): híbrido de *Brachiaria* da Embrapa. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Comunicado Técnico, n.137, p. 79804–970, 2017.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed ed. New York, NY, USA: Comstock Publishing Associates, 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v. 74, p. 3583–3597, 1991.

VARGAS JÚNIOR, F. M. DE et al. Disponibilidade e valor nutritivo de gramíneas tropicais sob pastejo com ovinos. *Archivos de Zootecnia*, v. 62, p. 295–298, 2013.

VELÁSQUEZ, P. A. T. et al. Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade *in vitro* de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 1206–1213, 2010.

VILELA, L. et al. “Boi safrinha” na integração lavoura-pecuária no oeste baiano. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal. Circular Técnica, v. 35, 2017.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1127–1138, 2011.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, v. 63, p. 1636-1642, 1982.